

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG”

Tesis Previa a la Obtención
del Título de Ingeniero Ambiental.

AUTORES:

JORGE WILLAN CUSCO TENESACA
KRISTOFFER EFRAÍN PICÓN AGUIRRE

DIRECTOR:

ING. JUAN FERNANDO CISNEROS

**CUENCA-ECUADOR
2015**



RESUMEN

El presente estudio emplea herramientas SIG para optimizar las rutas de recolección de los residuos sólidos municipales (RSM) generados en el cantón Cuenca, cuya empresa responsable de la recolección es la EMAC EP. La metodología planteada se basará en recomendaciones técnicas, herramienta SIG, información del parque automotor existente, análisis de redes viales de la ciudad para la generación de rutas optimizadas.

Las rutas optimizadas, reducen los costos operativos de recolección, mejorarán el servicio a los usuarios, se reducirán las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera ya que se acortarán los viajes que realizarán los camiones recolectores desde su salida hasta su llegada al relleno sanitario.

PALABRAS CLAVES: RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS, HERRAMIENTAS SIG, OPTIMIZACIÓN DE RUTAS, NETWORK ANALYST – ARCGIS 10.1, VEHICULOS RECOLECTORES DE RSM, NETWORK DATASET, NEW VEHICLE ROUTE PROBLEM



ABSTRACT

This study uses GIS tools use GIS tools to optimize routes for collection of municipal solid waste (MSW) generated in the canton Cuenca, the company responsible for the collection is the EMAC EP. The proposed methodology is based on technical recommendations, GIS tools, information from the existing fleet, the analysis of road networks in the city for the generation of optimized routes.

The optimized routes , reduce operating costs of collection, improve service to users , emissions of greenhouse gases will be reduced to the atmosphere from travel make garbage trucks from dispatch to arrival at the landfill shall be shortened.

KEYWORDS: DOMESTIC SOLID WASTE, HERRAMIENTAS SIG, OPTIMIZACIÓN DE RUTAS, NETWORK ANALYST – ARCGIS 10.1, VEHICULOS RECOLECTORES DE RSM, NETWORK DATASET, NEW VEHICLE ROUTE PROBLEM.



OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG

1	INTRODUCCIÓN	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GENERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	ESTADO DEL ARTE	17
3.1	SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS	22
3.1.1	<i>Fases del sistema de recolección</i>	<i>23</i>
3.1.2	<i>Descripción de la fase 4: Asignación de ruta al vehículo recolector</i> <i>23</i>	
4	METODOLOGÍA.....	24
4.1	DETERMINACIÓN DE RUTAS ACTUALES DE RECOLECCIÓN DE RSM DE CUENCA 26	
4.1.1	<i>Georeferenciación</i>	<i>28</i>
4.1.2	<i>Creación del mapa temático de rutas actuales</i>	<i>35</i>
4.2	DETERMINACIÓN DE RUTAS OPTIMIZADAS DE RECOLECCIÓN DE RSM DE CUENCA.....	35
4.2.1	<i>Elaboración del mapa temático de las vías de la ciudad de Cuenca</i> <i>35</i>	
4.2.2	<i>Elaboración del mapa temático de predios de la ciudad de Cuenca</i> <i>45</i>	
4.2.3	<i>Análisis y optimización de rutas nuevas.....</i>	<i>47</i>
4.2.4	<i>Evaluación de consumo y optimización:</i>	<i>48</i>
4.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	50
5	RESULTADOS	50
5.1	RUTAS ACTUALES DE RECOLECCIÓN DE RSM DE CUENCA	50



5.2	DETERMINACIÓN DE RUTAS OPTIMIZADAS DE RECOLECCIÓN DE RSM DE CUENCA.....	57
5.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	62
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.1	RECOMENDACIONES	65
7	ANEXOS.....	67
	ANEXO 1 MAPAS RUTAS ACTUALES	67
	ANEXO 2 MAPAS DE RUTAS OPTIMIZADAS	68
8	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	72



CLÁUSULA DE DERECHO DE AUTOR

Yo, Jorge Willan Cusco Tenesaca, autor de la tesis “OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG”, reconocemos y aceptamos el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de nuestros derechos morales o patrimoniales como autores.

Cuenca, 14 de enero de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Willan Cusco Tenesaca'.

Jorge Willan Cusco Tenesaca
C.I: 030254891-2



CLÁUSULA DE DERECHO DE AUTOR

Yo, Kristoffer Efraín Picón Aguirre, autor de la tesis “OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG”, reconocemos y aceptamos el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de nuestros derechos morales o patrimoniales como autores.

Cuenca, 14 de enero de 2015



Kristoffer Efraín Picón Aguirre
C.I: 171972505-1



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Jorge Willan Cusco Tenesaca, autor de la tesis “OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG”, certificamos que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 14 de enero de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Willan Cusco Tenesaca'.

Jorge Willan Cusco Tenesaca
C.I: 030254891-2



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Kristoffer Efraín Picón Aguirre, autor de la tesis “OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG”, certificamos que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 14 de enero de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kristoffer Efraín Picón Aguirre'.

Kristoffer Efraín Picón Aguirre
C.I: 171972505-1



DEDICATORIA

Kristoffer:

Dedico esta tesis a mis padres, Efraín Picón y Jakeline Aguirre, a mi hermano Bryan Picón, que me brindaron el apoyo incondicional a lo largo de todos estos años de estudios universitarios para poder realizar el segundo de mis logros académicos, que es culminar mi carrera y obtener mi título como Ingeniero Ambiental.

A mis familiares que siempre me daban consejos de superación para superarme cada día para llegar a ser una excelente persona.

También dedico este esfuerzo realizado a Dios, por todas las bendiciones recibidas.

Jorge:

Este trabajo de tesis va dedicado con todo mi cariño y mi amor a mis padres por ser las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme palabras de aliento cuando pensaba en darme por vencido. Papi y mami los quiero con todo mi corazón y este trabajo que con mucho esfuerzo logre culminarlo, es para ustedes, aquí está reflejado todo el sacrificio que hicieron por mí.

A mis hermanos Marco y Patricia por estar conmigo siempre y apoyarme en las buenas y las malas aunque a veces tengamos nuestras diferencias han estado ahí para darme aliento los quiero mucho, ustedes son mi mayor tesoro.

Este trabajo de tesis va dedicado todos nuestros compañeros, amigos y amigas que me supieron dar palabras de apoyo durante la realización de este trabajo, decirles muchas gracias por estar con nosotros en todo este tiempo donde



vivimos momentos tristes y felices, gracias por ser nuestros amigos y recuerden que cuando nos necesiten aquí estaremos.

A nuestros maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias para formarnos como personas de bien y preparadas para enfrentar los retos que pone la vida, a todos ellos va dedicada cada una de estas páginas de nuestra tesis.



AGRADECIMIENTO

Kristoffer:

Agradezco al Ing. Juan Cisneros por ayudar con las pautas y por haber brindado su tiempo y paciencia para la elaboración de este proyecto. A todos los profesores que me brindaron sus enseñanzas a lo largo de toda mi carrera universitaria, ya que inculcaron valores y enseñanzas para llegar a ser un excelente profesional, a mis amigos de clases con los cuales se compartió una buena amistad, a mi amigo William Cusco que demostró cooperación y esfuerzo mutuo para la realización de este proyecto.

Jorge:

Quiero agradecer primero a Dios por haberme permitido estar en este mundo, por acompañarme y guiarme a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por haberme dado la hermosa familia que tengo, y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes, alegrías, tristezas, etc. Le doy gracias a mis padres Julián y María por apoyarme en todo momento, por todo su esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida, darles las gracias por apoyarme en todos los momentos difíciles de mi vida tales siempre han estado junto a mí. Gracias por todo papi y mami por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome su amor, todo lo que he hecho y logrado ha sido para que ustedes se sientan orgullosos de mí y espero haberlo conseguido.

A mis hermanos Patricia y Marco gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia; los quiero mucho.



Queremos agradecer a todos nuestros profesores que nos supieron acompañar durante toda nuestra vida universitaria, por tenernos paciencia, brindarnos sus enseñanzas y consejos. De manera especial queremos agradecer a nuestro director de tesis Ing. Juan Fernando Cisneros por sus conocimientos, su orientación, su manera de trabajar, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para este logro conseguido.

De igual manera agradecemos al Ing. Wilfrido Bermeo, jefe de la planta de operaciones de la EMAC EP, por abrirnos las puertas y brindarnos apoyo e información necesaria para la realización de este proyecto.

Gracias a todos nuestros compañeros, amigos y amigas que han estado siempre con nosotros, gracias por haber llegado a nuestras vidas y por compartir momentos agradables, esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean.



OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG

1 INTRODUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos municipales (RMS), ha evolucionado paralelamente a la urbanización, al crecimiento económico y a la industrialización.

El crecimiento acelerado de la población del cantón Cuenca en los últimos años, así como el proceso de industrialización han aumentado la generación de residuos sólidos, haciendo que la logística de recolección sea más compleja, hoy en día la generación de residuos por persona se estima entre 0,39 y 0,53 kg/hab/día en el cantón (Bermeo, 2014), aunque este problema siempre ha existido en la actualidad se ha convertido en un aspecto crítico debido a los altos costos de transporte y de mano de obra para la recolección de los RSM.

Entre algunos de los problemas identificados durante la recolección de RSM en la ciudad de Cuenca, destacan los siguientes:

- Las rutas actuales de recolección no han pasado por un proceso de optimización, además en éstas no se han incluido las recomendaciones básicas de la teoría de recolección.
- Se ha visto que los operadores podrían no estar bien capacitados para la correcta manipulación de los mecanismos hidráulicos de las carrocerías.
- Se ha visto que en muchos casos los conductores no han respetado las zonas asignadas, cuando no completan su carga, se suelen pasar a otras zonas.



- Los camiones recolectores son sobrecargados excediendo su capacidad de carga lo que conlleva a un desgaste prematuro de los mismos, su mal funcionamiento y deterioro del pavimento sobre el cual circulan.
- Un porcentaje considerable de vehículos de recolección han superado su vida útil y tecnológica por lo que ocurrirán deficiencias en la operación, mayor consumo de combustible y consecuentemente mayores emisiones de gases contaminantes al ambiente.

Los problemas que producen los camiones recolectores al recorrer la ciudad tenemos la contaminación del aire, esto como producto de la emisión de gases tóxicos como el CO₂ que producen afecciones a la salud de las personas. A esto se suma el tráfico en ciertas horas del día y el ruido, que producen un impacto sobre la salud y el bienestar de la población.

Para cumplir con el servicio de recolección, los recolectores deben recorrer grandes distancias, que dependen de sus rutas de recolección. Si éstas no son optimizadas el camión tiene la posibilidad de desperdiciar su tiempo de trabajo, al pasar varias veces por el mismo punto o pasar por zonas innecesarias.

Tanto la capacidad de los camiones, las distancias, el crecimiento poblacional, conjuntamente con el mal diseño de las rutas de recolección contribuye a que el servicio de recolección no cumpla con las expectativas esperadas. En la mayoría de los casos, las rutas se diseñan de manera intuitiva, en vez de ser creadas a partir de un estudio técnico, de ahí que los tiempos y gastos de combustible se vean incrementados.

La importancia de las rutas optimizadas, significa reducción en los costos operativos de recolección, se mejora el servicio a los usuarios, se reducen las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera ya que se acortan los viajes que realizarán los camiones recolectores desde su salida hasta su llegada al relleno sanitario.



Según la empresa EMAC EP en el año 2009, Cuenca alcanzaba una cobertura de recolección del 92%, mientras que para el 2013 llegó a un 98,6% mejorando la cobertura debido a que actualmente se cuenta con 34 camiones recolectores de carga posterior, 6 recolectores de carga frontal y 2 camiones de reciclaje. Sin embargo, no se cuenta con un diseño técnico de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos, debido a que el sistema de recolección se desarrolló de forma empírica creciendo conforme avanzó la ciudad y es por este motivo que el servicio carece de un estudio técnico que demuestre si existe un buen uso de los recursos humanos y materiales existentes.

El siguiente tema de tesis tiene por objetivo la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Cuenca. Esta tesis habla sobre algunos estudios relacionados con el tema de optimización que fueron hechos en otros países, se hizo la identificación y análisis de las rutas actuales de recolección, la optimización de las mismas mediante el uso de herramientas SIG y el análisis posterior para hacer una comparación entre ambas.

Se analizaron los resultados obtenidos y finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones para estudios posteriores o si en un futuro se quiere implementar como un plan piloto en los diferentes lugares del Ecuador.

El estudio ayudará a mejorar las limitaciones que presentan el actual diseño y funcionamiento de las rutas de recolección de residuos sólidos establecidas por la EMAC. Se obtendrá un producto de calidad el mismo que beneficiará a la empresa, reduciendo sus costos de operación y a la vez mejorará el servicio de recolección prestado a la ciudadanía.

El presente estudio consta de la siguiente estructura: introducción, objetivos, estudios realizados, metodología a aplicarse, resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG.

2.2 Objetivos Específicos

1. Recopilar información sobre las rutas de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca.
2. Analizar los datos recopilados.
3. Escoger las herramientas más adaptables al estudio.
4. Modelar diferentes esquemas de recolección en software de información geográfica.
5. Analizar e interpretar los resultados obtenidos.
6. Presentar los resultados obtenidos de las nuevas rutas.

3 ESTADO DEL ARTE

El estado del arte en el concepto de optimización de rutas de recolección, se puede observar un estudio que se realizó por Zsigraiova (2013), en Barreiro Portugal, en donde los sistemas de recogida y transporte de residuos, consisten en redes de contenedores, tanto para la recolección diferenciada y la recogida selectiva de materiales reciclables.

Se utilizó una metodología innovadora para la reducción del total de costos de operación (incluyendo los costos parciales de mantenimiento de los vehículos, la mano de obra y combustible), involucrados en colección y transporte de residuos.

Se utilizó un software de enrutamiento disponible en el mercado, la extensión Network Analyst (NA) de ESRI's ArcGIS® ArcMap 9.3. Simultáneamente se utilizó el algoritmo Dijkstra (también llamado algoritmo de caminos mínimos)



para determinar la ruta más corta de la red vial y meta-heurísticos como método de resolución de problemas.

Las características de la extensión Network Analyst (NA) en particular son convenientes en el empleo de cartografía a nivel de calle en forma de datos de red, permitiendo obtener rutas detalladas para calcular y replicar ciertas características.

Se concluyó que, si se utiliza la ruta optimizada resultante hay reducciones de 49% y 62% para el tiempo total gastado mediante el recorrido de la distancia más corta. A su vez, para las emisiones contaminantes, las reducciones varían entre 27% y 30% cuando los camiones recolectores realizan su recorrido. En cuanto al tiempo empleado por los vehículos recolectores se puede disminuir alrededor de 25% y el consumo de combustible podría reducirse en un 28% en relación al recorrido de la distancia optimizada.

Otros estudios importantes a destacar fueron realizados por Rada (2013), en el que se refieren a experiencias de dos estudios de caso italianos y dos estudios de caso extra-europeos adicionales realizados en China y Malasia.

En los casos de estudio italianos se utilizaron sistemas orientadas a Web-SIG, para gestionar todo el ciclo de los residuos, desde el punto de generación hasta el relleno sanitario o a las plantas de reciclaje, mediante la automatización y optimización de cada paso de la cadena (Rada, 2013).

Con respecto a los dos casos de estudio extra-europeos, China se refiere a una aplicación piloto de carácter innovador para el seguimiento de los residuos sólidos urbanos, basado en tecnología de sensores distribuidos. Se realizó la implementación de una red de contenedores de residuos sensorizadas ligado a un sistema de gestión de datos, compatible con Web y sistemas de información geográfica (Rada, 2013).

En Malasia se realizó la implementación prototipo, utilizando herramientas RFID (Identificación automática de captura de datos) y SIG organizada por parte del servidor Web.



Se concluyó que el uso de Web-GIS con RFID, es un sistema paramétrico y modular que permite suministrar soluciones modernas basadas en las normas operativas de Internet, también es una oportunidad para la organización de otros sectores de la administración pública: sistemas de abastecimiento de agua, suministro de electricidad, distribución de gas, etc (Rada, 2013).

Otro estudio fue desarrollado por Constantinos (2011) en Grecia, en la cual se elaboró una metodología para situar óptimamente y diseñar estaciones de transferencia de desechos sólidos municipales usando programación binaria.

La metodología usada en el estudio de Constantinos (2011), constó de cuatro partes:

- Excluyeron las zonas inadecuadas para el emplazamiento de estaciones de transferencia de desechos.
- Adecuaron las estaciones de transferencia de residuos mediante un enfoque de ubicación del sitio.
- Desarrollaron una función objetivo que minimice el costo total de la recolección de desechos sólidos
- Implementaron un modelo amigable con el ambiente, elaborada en una hoja de cálculo Excel.

Se utilizaron dos enfoques para la ubicación de las estaciones:

- El sitio de las estaciones de transferencia, cerca de los centros municipales (enfoque A).
- El sitio de las estaciones de transferencia, en lugares críticos de manera que sirvan a múltiples municipios (enfoque B).

Se desarrolló un modelo de optimización el cual comprendía de una función objetivo, variables y restricciones. Con el fin de hacer esto se calcularon las distancias del viaje (km), el tiempo (h), estos datos incluyeron en la ecuación de optimización.



La optimización se realizó en dos partes. Se redujo al mínimo el costo relacionado con la distancia de los nodos, la producción de desechos a las estaciones de transferencia y se redujo al mínimo el costo relacionado con el recorrido de los residuos, desde las estaciones de transferencia a los rellenos sanitarios.

El desarrollo de la red de recolección fue realizado con la aplicación de SIG, mediante mapas proporcionados por el ejército helénico. Se digitalizó la información necesaria, tales como ciudades y pueblos, cuerpos de agua, usos y morfología del suelo. La exclusión de zonas inadecuadas para construir las estaciones de transferencia, también se realizaron con el software SIG.

Los resultados que se obtuvieron sugirieron que, 47 municipios deben dirigir sus residuos a 12 estaciones de transferencia y los 6 municipios restantes deben transferir sus desechos sólidos municipales a dos vertederos.

El costo total óptimo de la recolección fueron €42/t (emplazamiento enfoque A) y €43,2/t (enfoque B). Por lo tanto, parece que sería preferible que la estación de transferencia este cerca de un nodo de producción de desechos (emplazamiento enfoque A).

Un análisis de sensibilidad llegó a la conclusión de que el costo del combustible fue el parámetro más sensible en el modelo.

Otro estudio importante fue realizado por Xiaoyun (2013), en Holanda el mismo se refiere al enrutamiento de los vehículos para la recolección eco-eficiente de desechos plásticos.

Tiene como objetivo el rediseño de las rutas de recolección mediante un algoritmo y compara las opciones de recogida de residuos plásticos mediante la eficiencia ecológica como indicador de desempeño.



Se realizó mediante escenarios, estos escenarios se diseñaron de acuerdo a las alternativas de recolección con diferentes supuestos como: método de recogida, tipo de vehículo, puntos frecuentes de recogida y recolección.

En los escenarios se establecieron dos tipos de rutas de recolección de residuos: el primero fue de lado de la acera y el segundo de bajada, estos se modelaron como un problema de enrutamiento de nodos.

La recopilación de datos para la edificación del modelo se llevó a cabo en cooperación con los municipios y socios de la investigación a través de entrevistas, informes industriales y literatura.

Como resultado se obtuvo una ruta actual de recolección de residuos, se mejoró la ruta con el algoritmo diseñado, se obtuvo una mejora global del 7%.

El enfoque diseñado sirve como una herramienta eficaz para proporcionar apoyo para las decisiones de diseño de recolección de residuos, en la que se consideren alternativas como separación y recolección.

Un estudio realizado en Castellón, España por Alberola et al., (2013), utilizó el programa Arcgis 10, mediante la extensión Network Analyst, utilizando cartografía proporcionada por el instituto geográfico nacional de aquella localidad para elaborar el diseño de rutas para recogida de residuos, en 221 contenedores con tres camiones de recogida, tomando en cuenta el tiempo de desplazamiento entre contenedores y el tiempo de parada que tiene en cuenta el tiempo utilizado para la carga y descarga del contenedor.

En la metodología utilizada para el cálculo de las rutas de recolección se plantearon tres posibles escenarios:

1. Cálculo de las rutas siguiendo el mismo orden de paradas que se realiza en la actualidad.



2. Cálculo de ruta manteniendo el primer y último contenedor fijos, dejando que el programa realice el orden de recogida de los contenedores intermedios.
3. Cálculo de la ruta óptima que pase por todos los contenedores sin utilizar ninguna restricción en las paradas.

Como resultados se obtuvieron cada uno de los escenarios mediante una simulación en Arcgis 10, en los que se ha dibujado la ruta sobre el mapa que seguiría el camión de recogida obteniendo lo siguiente.

	Camión 1	Camión 2	Camión 3
Nº Contenedores	72	74	75
km	23.2	23.7	30
Tiempo de desplazamiento	1h 10min	1h 11min	1h 30min

Como conclusión, en el caso de estudio, a partir de tres camiones de recogida se han planteado varias posibilidades, dividiendo la ciudad por sectores. Evidentemente, a mayor sectorización de la ciudad, menor es el número de contenedores a recoger y menor la distancia recorrida en cada sector.

3.1 Sistemas de Recolección de desechos sólidos domiciliarios

La recolección de residuos es, en términos generales el transportar los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora, hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia (Cisneros, 2012).

El sistema de recolección de desechos es multifacético, el propietario ubica en contenedores los desechos sólidos (dentro o fuera de la casa), posteriormente se transfiere el desecho del contenedor hasta el vehículo recolector mediante un personal recolector, en el caso que la técnica en uso sea la manual.



Usualmente el material reciclable y desechos de jardín son recolectados de manera independiente, en compartimientos separados del mismo vehículo o en uno diferente. El vehículo debe reunir los desechos de la mayor cantidad de propiedades y cuando está lleno o cuando cumpla la carga por rueda permitida, debe transportar los desechos a su disposición final, que en el caso del cantón Cuenca es el relleno sanitario de Pichacay.

3.1.1 Fases del sistema de recolección

La recogida de los residuos sólidos, consiste en su recolección para efectuar su traslado a las plantas de tratamiento. La recogida en si es un proceso complicado, donde se deben conjugar las necesidades del servicio con la disminución de las molestias que se generan a los ciudadanos.

El sistema de recolección consta de las siguientes fases:

- Fase 1: Generación de residuos sólidos en el hogar los cuales son dispuestos en un contenedor.
- Fase 2: Recogida y transporte de contenedores al vehículo recolector.
- Fase 3: Recolección de residuos sólidos puerta a puerta por el camión recolector.
- Fase 4: Asignación de ruta al vehículo recolector.
- Fase 5: Transporte de los residuos sólidos a su disposición final.

Para el estudio, optimización de las rutas de recolección, habrá que centrarse en la fase 4; la asignación de ruta al vehículo recolector.

3.1.2 Descripción de la fase 4: Asignación de ruta al vehículo recolector

En esta etapa se realiza la asignación de ruta al vehículo recolector, para el transporte de los residuos sólidos a su disposición final. Para realizar la asignación de las rutas se debe tener en consideración los siguientes factores: la densidad poblacional y el tipo de basura por lo que se puede realizar un microruteo.



El microruteo se refiere al cumplimiento diario de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados los vehículos recolectores.

El microruteo tiene los siguientes objetivos:

1. Disminuir la distancia recorrida entre dos puntos determinados.
2. Evitar pasar en lo posible por el mismo punto dos veces (punto muerto).
3. La ruta más eficiente es la que tiene menos puntos muertos.

Para diseñar un microruteo es necesario establecer una red que cumple con todas las condiciones descritas anteriormente, a esta se la denomina “Red Unicursal” (Cisneros, 2012). Para que la microruta sea más eficiente deben ser consideradas ciertas recomendaciones, entre las cuales podemos citar:

- La ruta no debe superponerse, debe ser compactada y no debe ser fragmentada.
- El punto de inicio debe ser el garaje.
- Se deben evitar vías con alto tráfico y en horas pico.
- Las vías unidireccionales que no pueden ser atravesadas en una línea deben ser enlazadas desde el extremo superior.
- Los callejones sin salida se deben recolectar desde la parte derecha de la calle.
- En partes altas, la recolección debe hacerse desde arriba hacia abajo.
- En manzanas la recolección debe realizarse en el sentido de las manecillas del reloj.
- Se debe recolectar primero las vías rectas y largas antes que las manzanas.
- En lo posible se debe evitar los virajes en U para evitar contravenciones (Cisneros, 2012).

4 METODOLOGÍA

La metodología diseñada busca la optimización de las rutas actuales de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca. Se basó en las pautas descritas en el estudio realizado por Zsigraiova (2013), en Barreiro Portugal,



en donde se logró la reducción del total de costos de operación (incluyendo los costos parciales de mantenimiento de los vehículos, la mano de obra y combustible), involucrados en la recolección y transporte de residuos mediante la determinación de la ruta más corta y óptima de la red vial.

Se utilizó un software de enrutamiento disponible en el mercado, la extensión Network Analyst (NA) de ESRI's ArcGIS ArcMap 10.1 que en particular emplea cartografía a nivel de calle en forma de datos de red, permitiendo obtener rutas detalladas para el cálculo de macro y micro rutas optimizadas y replicar ciertas características.

La metodología diseñada está basada en 3 puntos principales, en el primero se identificaron las rutas de recolección actuales, el segundo la implementación de técnicas SIG, para realizar un análisis de red, mediante este análisis se busca simular el recorrido que hacen los camiones recolectores por las diferentes calles de la ciudad. Este análisis se lo hizo mediante el programa Arcgis que fue usado mediante licencia académica proporcionado por la Universidad de Cuenca. El punto final fue una comparación entre las rutas actuales y las nuevas rutas optimizadas.

Una red se define como un sistema de elementos interconectados, desde el punto de vista geométrico por 2 componentes: Los nodos que representan una intersección vial y los ejes que representan las carreteras.

La función de modelar una ruta es realizar análisis relacionados con el movimiento de los vehículos recolectores u otros agentes en la red. El análisis de red más común consiste en buscar la ruta más corta entre dos puntos (Esri, 2013a).

Una red de transporte, básicamente, es una infraestructura necesaria para la circulación de los vehículos a través de un área determinada. El transporte terrestre es aquel cuyas redes se extienden por la superficie de la tierra, donde sus ejes son visibles debido a que están formados por una infraestructura construida previamente (Pellicer et al., 2011).



Una red de transporte también se compone por los flujos que corresponden a desplazamientos realizados por personas y vehículos al interior de los ejes de la red, el flujo dependerá de los atributos propios de cada componente.

En las redes de transporte pueden existir ciertas restricciones o límites al desplazamiento como bloqueos de calles, semáforos y restricciones de circulación (sentido de las calles) Estas redes pueden ser elaboradas al interior de una Geodatabase o desde un shapefile. (Ver Glosario).

Las redes de transporte han sido utilizadas para diferentes aplicaciones como por ejemplo:

- Calcular la ruta más corta entre dos puntos.
- Determinar la zona de auxilio más cercana.
- Definir la mejor ruta para asistencia a los clientes.
- Administrar las rutas para el retiro de los desperdicios domiciliarios.

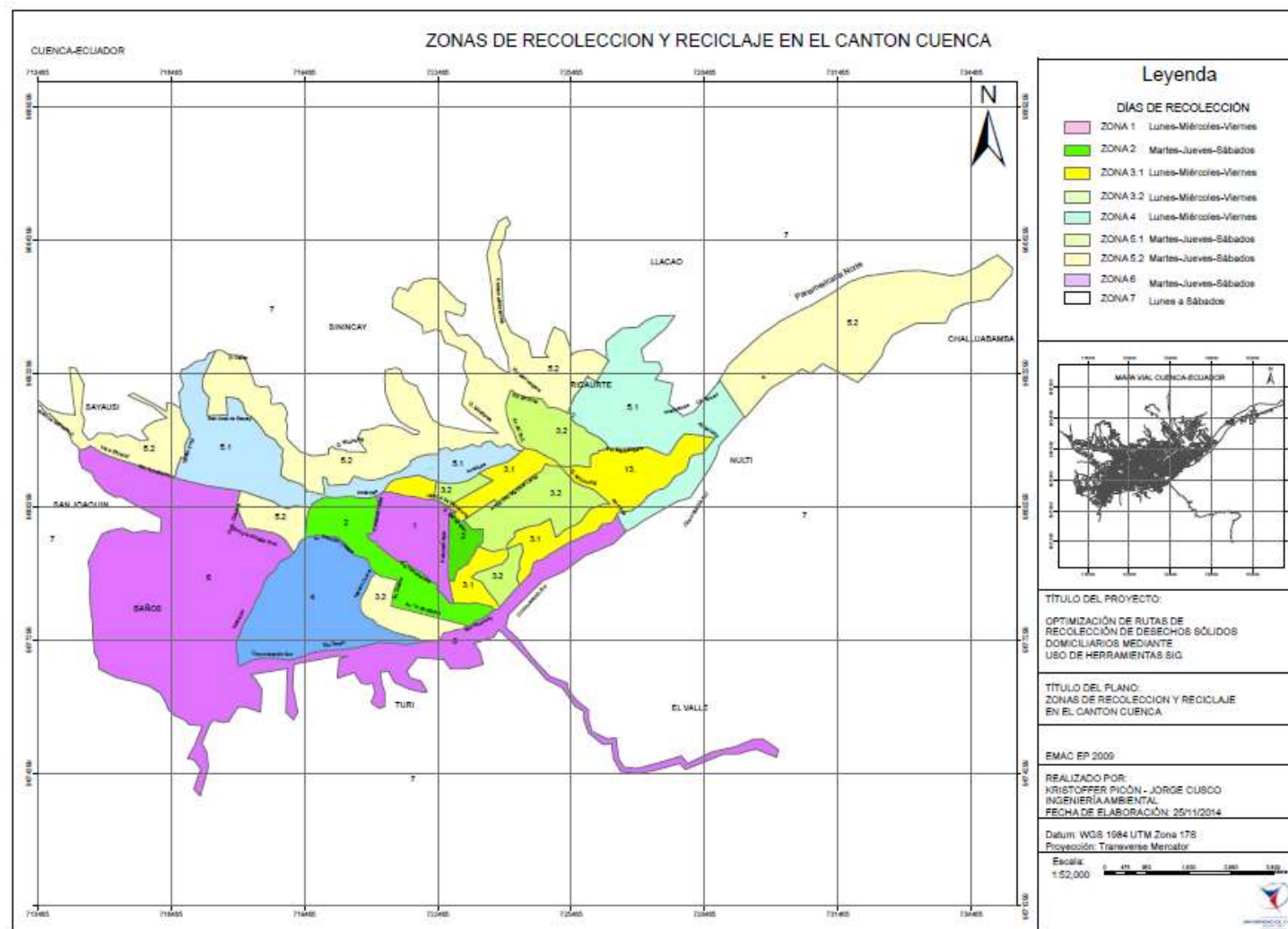
4.1 Determinación de rutas actuales de recolección de RSM de Cuenca

Para cumplir con el servicio de recolección de residuos sólidos, la ciudad de Cuenca ha sido dividida en 7 grandes zonas desde el año 2006, año en el que la EMAC EP asumió la responsabilidad de la recolección y el tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios.

El trabajo de recolección se realiza de lunes a sábado y a doble horario, desde las 8 am hasta las 12pm el primer turno y de 3pm a 11pm el segundo.

Los inspectores que laboran en la planta de operaciones, donde se encuentran las unidades de recolección de la EMAC EP, asignan las diferentes rutas a cada uno de los conductores de los vehículos recolectores. Durante 6 meses los conductores deben ocuparse de estas rutas y una vez culminado este periodo se les asigna una nueva. La Imagen 1 muestra las diferentes zonas en las que la EMAC EP, ha dividido a la ciudad para el efectivo cumplimiento del servicio de recolección.

Imagen 1 Mapa de zonas de recolección de la ciudad de Cuenca





Estas 7 zonas a su vez han sido subdivididas en 32 sub zonas, las que son mostradas en la Tabla 1; se muestra las sub zonas en las que ha sido dividida la ciudad de Cuenca.

Tabla 1 Sub zonas de recolección

Jornada de recolección	Zonas		Jornada de recolección	Zonas	
Mañana	Céntricas	Periféricas	Tarde	Céntricas	Periféricas
	C1	P1		C9-C17	P9-P17
	C2	P2		C10-C18	P10-P18
	C3	P3		C11-C19	P11-P19
	C4	P4		C12-C20	P12-P20
	C5	P5		C13-C21	P13-P21
	C6	P6		C14-C22	P14-P22
	C7	P7		C15-C23	P15-P23
	C8	P8		C16-C24	P16-P24

Fuente: (Modificado de EMAC EP, 2009).

En la Tabla 1 se puede observar cada una de las 32 sub zonas, las cuales son recogidas ya sea en horario matutino o vespertino. El término céntricas se refiere a la zona urbana y periférica referida a la zona rural.

4.1.1 Georeferenciación

Para identificar las rutas de recolección, los autores de este estudio acompañaron a los recolectores de desechos en su recorrido diario por las diferentes calles de la ciudad.

En el levantamiento de datos se utilizó el GPS para móvil MapFactor Navigator FREE, de tipo PDA (Asistencia Personal Digital). Esta es una aplicación de navegación gratuita para teléfonos móviles que utilizan el sistema operativo Android.

Se utilizó este tipo de GPS porque es una aplicación gratuita, de fácil manipulación, no necesita conexión a internet para poder navegar y acceder a los mapas ya que al descargarlo los mapas son guardados en la tarjeta de memoria. Además, las actualizaciones son también gratuitas.



Los datum usados en el Ecuador son el Provisional, medido para Sudamérica en 1956 (Provisional South American 1956 o PSAD56), el WGS84 (World Geodetic System 1984) y el SIRGAS95 (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), y la proyección realizada es la Universal Transverse Mercator que es de tipo cilíndrica y es aplicable en diferentes elipsoides. El datum usado en el presente estudio es el WGS84.

Los datos se tomaron desde la salida del camión recolector de la planta de operaciones, ubicada en la avenida del Toril y Huagra Huma (724287.24m E, 9681859.54m S) hasta donde se terminaba la zona asignada o hasta cuando el camión estuviese lleno.

La Tabla 2 indica el número de camiones recolectores de la EMAC EP de cada marca, año y modelo. La Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 muestran las especificaciones técnicas de los 3 tipos de camiones usados para la recolección de los residuos sólidos.

Tabla 2 Flota de Recolección EMAC EP.

Flota de Recolección EMAC EP			
Cantidad	Marca	Año fabricación	Especificaciones técnicas
11	VOLKSWAGEN	2011	Tabla 5
10	STERLING	2003	Tabla 3
13	KENWORTH	2012	Tabla 4

Fuente: (Bermeo, 2014).

Tabla 3 Especificaciones Técnicas Camión Sterling

Chasis: STERLING/ Caja compactadora: McNEILUS / AÑO 2003	
Año	2003
Fabricante	STERLING
Modelo	ACTERRA
Cabina	Cabina estándar
Especificaciones del motor	Mercedes
Tipo de motor	MBE900
Potencia	280
Tipo de combustible	Diesel
Transmisión	Manual
Freno del motor	No
Suspensión	Suspensión neumática
Relación	6.43
Neumáticos	285/22.5 and 11R22.5
Ruedas	Totalmente de acero
Distancia entre ejes	6.91 m
Cantidad de ejes traseros	En tandem
Peso de Eje Delantero	8.165 kg
Peso de Eje Trasero	20.865 kg
Peso bruto del vehículo	27.216 kg
Ubicación del Volante	Lado izquierdo
Capacidad	13 Ton



Fuente: (MarketBook, 2014).

Tabla 4 Especificaciones Técnicas Camión Kenwort

Chasis: KENWORT / Caja compactadora: McNEILUS / AÑO 2012	
Año	2012
Fabricante	KENWORTH
Modelo	T440
Ubicación	Strafford, Missouri
Especificaciones del motor	Paccar
Tipo de motor	PX-8
Potencia	330
Transmisión	Manual
Tipo de combustible	Diesel
Freno del motor	No
Relación	6.17
Neumáticos	11R22.5"
Ruedas	Totalmente de acero
Cantidad de ejes traseros	En tandem
Peso bruto del vehículo	27.216 kg
Peso de Eje Trasero	18.144 kg
Peso de Eje Delantero	9.072 kg
Ubicación del Volante	Lado Izquierdo
Capacidad	15 Ton

Fuente: (MarketBook, 2014).

Tabla 5 Especificaciones Técnicas Camión Volkswagen

Chasis: VOLKSWAGEN / AÑO 2011 / VEHÍCULOS PARA RECICLABLES	
Motor	
Modelo	MWM 4.10 TCA turbo y intercooler
Nº de cilindros	4 en línea
Cilindrada (cm ³)	4300
Diámetro del pistón (mm)	103
Carrera del pistón (mm)	129
Relación de compresión	17:01
Potencia neta máx. - cv (Kw) / rpm (*)	120 (88) / 2600
Par motor neto máx. - Kgfm (Nm) / rpm (*)	39 (382) / 1600
Consumo específico - g/cv.h (g/kW.h) / rpm (*)	162 (220) / 1600
Secuencia de inyección	1-3-4-2
Bomba inyectora	Bosch - VE - rotativa
Compresor de aire	Knorr - LK 38
Transmisión	
Caja de cambio	Eaton - FSO 4305C
Mando	palanca en el suelo
Nº de marchas	5 adelante (sincronizadas), 1 reversa
Dirección	
Tipo	hidráulica integral con esferas recirculantes
Modelo	ZF 8090
Relación de reducción	16,6:1 a 19,6:1
Tipo de Combustible	Diesel
Capacidad de Carga	14 Ton
Año	2011

Fuente: (Autotec, 2014).



Los datos de geoposición fueron usados para graficar las diferentes vías y calles que los recolectores recorren para cumplir con el servicio de recolección. Se obtuvieron 32 datos en formato NMEA (Ver Glosario), de las 32 sub-zonas mostradas en la Tabla 1. El formato NMEA no puede ser aprovechado directamente por lo que es necesario transformarlo a formato KML. (Ver Glosario).

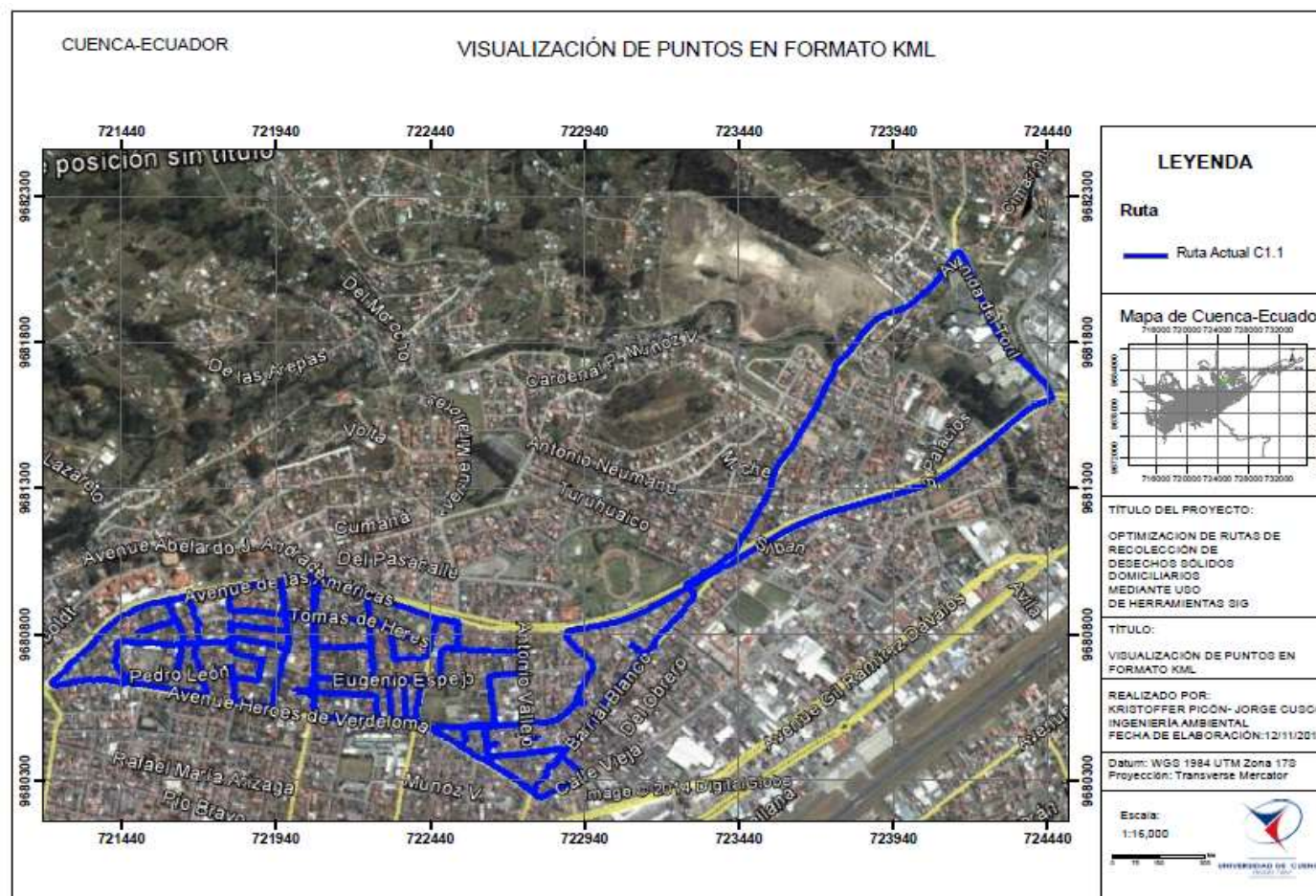
4.1.1.1 Transformación a formato KML

La transformación fue realizada usando la aplicación gratuita encontrada en el sitio web NMEA to KML converter (2014), perteneciente a la sociedad hschmidtfamily.org.

Se realiza este procedimiento para poder visualizar los datos en el programa Arcgis.

En la Imagen 2 se puede visualizar el archivo NMEA transformado a KML, se puede observar las vías que recorrió el camión recolector durante uno de sus recorridos.

Imagen 2 Visualización de puntos en formato KML

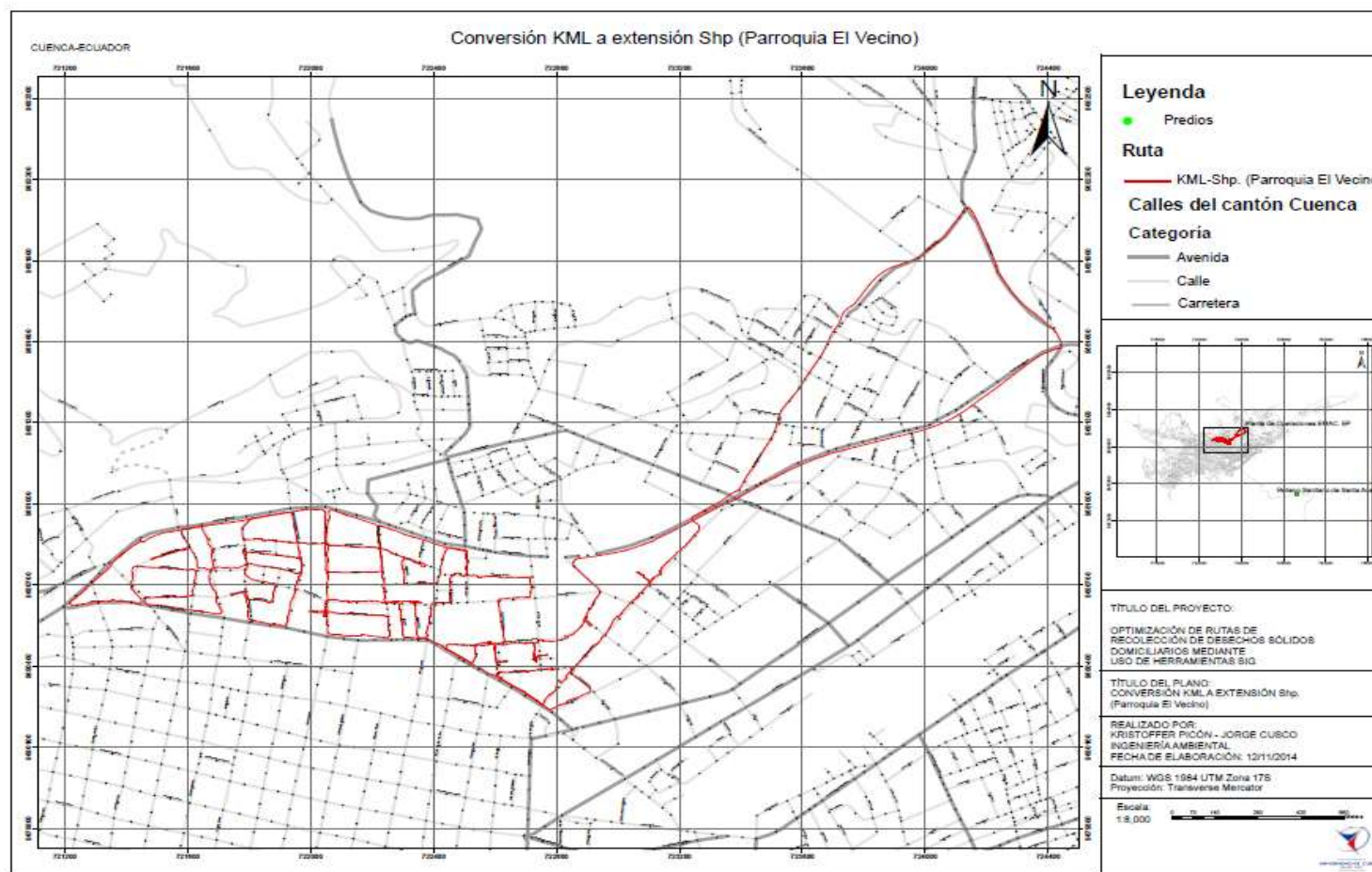




El formato KML es convertido a su vez a una extensión **shp** para poderlo usar en un sistema de información geográfico. Para la conversión se utilizó la herramienta “Conversion Tools” del programa ArcGis. En la Imagen 3 se puede ver la ruta que corresponde a la parroquia El Vecino.

La transformación de las capas sirve para visualizar las rutas actuales de recolección de residuos sólidos domiciliarios que realiza la empresa EMAC EP y posteriormente servirá para establecer comparaciones con las nuevas rutas creadas.

Imagen 3 Conversión KML a extensión Shp (Parroquia El Vecino)





4.1.2 Creación del mapa temático de rutas actuales

La creación del mapa temático de rutas actuales se lo realizó mediante el programa ArcGis 10.1 que fue usado mediante licencia académica proporcionado por la Universidad de Cuenca.

En el programa se cargó el mapa de la ciudad de Cuenca, información facilitada por la EMAC EP posteriormente se procedió a graficar las rutas actuales, basándose en los datos tomados con el GPS. En cada una de las rutas se dibujaron flechas, las mismas que indican el sentido de las rutas actuales.

4.2 Determinación de rutas optimizadas de recolección de RSM de Cuenca

Una vez culminado con la toma de datos de las rutas actuales, se procede a realizar el análisis de red para lo cual se debe primero elaborar 2 tipos de shapes uno de puntos y otro de líneas para crear las vías de la ciudad mediante nodos y enlaces. Primero se debe crear un shape de puntos o nodos, cada uno de ellos representa un punto de intersección o conexión entre las vías, posteriormente se debe elaborar un segundo shape de líneas para crear las redes mediante la unión de nodos, cada nodo se va uniando mediante rectas, las mismas que van a representar las vías.

4.2.1 Elaboración del mapa temático de las vías de la ciudad de Cuenca

La creación del mapa con las vías de la ciudad se realizó mediante la herramientas de ArcGIS que permite trabajar con datos de mapa base de OpenStreetMap, el cual sirvió de guía para dibujar los puntos y las líneas, mediante la creación de los shapes correspondientes a los mismos, que sirven para el análisis de la red de transporte.

OpenStreet es un mapa del mundo dirigido a crear y ofrecer datos geográficos libres. Es construido por una comunidad de creadores “© Colaboradores de



OpenStreetMap”, que contribuyen y mantienen los datos acerca de caminos, senderos, cafeterías, estaciones de ferrocarril, y mucho más, en todo el mundo. Los datos están disponibles bajo la licencia Open Database License (ODbl), esta es una licencia permite a los usuarios compartir libremente, modificar y utilizar esta base de datos (Colaboradores de OpenStreetMap, 2004).

Para dibujar los nodos y las líneas se puede partir de un mapa base, en este caso se usó como mapa base el open Street.

Adicionalmente se utilizó información de la Agencia Nacional de Transito del Ecuador (ANT), la misma que ha establecido los límites de velocidad para vehículos, los cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Límites de velocidad

Tipo de vía	Límite máximo (km/h)	Rango moderado (km/h)	Fuera de rango moderado (km/h)
Urbana	40	>40 - <50	>50
Perimetral	70	>70 - <95	>95
Rectas en carreteras	70	>70 - <100	>100

Fuente: (ANT, 2014).

4.2.1.1 Creación de un archivo shape de puntos (nodos)

La creación del shape sirve para fijar puntos de intersección de las vías y trazar las calles, por medio de la herramienta de ArcGIS que permite trabajar con datos de “OpenStreetMap” y utilizarlo como mapa base. En la elaboración del shape se consideraron nodos iniciales y nodos finales según el sentido de digitalización de cada vía.

Se debe crear una carpeta con el nombre “Nodos”, en Arcgis, en la barra de herramientas seleccionar “Catálogo” y buscar la dirección de la carpeta creada,



dar clic derecho escogiendo la opción *New-Shape File* y asignarle el nombre “Nodos”. Luego para proyectarlo seleccionar la pestaña “*XY Coordinate System*” y utilizar el sistema de coordenadas proyectadas “*WGS 1984 UTM Zone 17S*”.

Ahora en propiedades (*Properties*) se procede a agregar un nuevo campo (*Field*) con el nombre de “Código”. El “*Field*” es tipo “*Long Integer*” con precisión de 10, este campo sirve para saber cuál es el nodo de inicio y el nodo final en la digitalización de las vías.

Luego seleccionar la pestaña “*XY Coordinate System*” y utilizar el sistema de coordenadas proyectadas “*WGS 1984 UTM Zone 17S*.”

4.2.1.2 Creación de un archivo Shape de líneas (vías)

Un nuevo shape es creado para digitalizar las vías a partir de un nodo inicial hasta un nodo final, generándose así el atributo de sentido de la vía. Para la creación de las líneas se siguieron los ejes de las vías del mapa base de OpenStreetMap.

Del mismo modo que para el shape de puntos, se debe crear un shape con el nombre “Vías y proyectarlo al sistema de coordenadas “*WGS 1984 UTM Zone 17S*”, de la misma manera como se hizo con el shape de nodos.

Al nuevo shape de líneas creado se le agregaron diferentes campos que sirven para la creación del Networkdataset (Ver Glosario), ya que sin estos no es posible la creación del mismo. Se procede a crear una “Tabla de atributos” y agregar los siguientes campos con sus respectivas características.

La Tabla 7 muestra los campos base para el análisis de redes en donde:

- **Fnode_**: nodo inicial.
- **Tnode_**: nodo final.
- **Nombre**: nombre de la calle.



- **Categoría:** si es calle, carreter, avenida, retorno, etc.
- **Oneway:** indica el sentido de circulación es decir; si la calle es unidireccional o doble sentido.
- **Atributos de tiempo:** “FT_MINUTES”; representa los minutos de desplazamiento en el sentido Desde-Hacia (nodo inicial hacia nodo final) y “TF_MINUTES”; los minutos en el sentido Hacia-Desde (nodo final hacia nodo inicial).
- **Atributo de distancia (Meters):** indica la distancia de cada calle en metros, kilómetros, etc.
- **Jerarquía (Hierarchy):** se les va dando una determinada jerarquía a las diferentes categorías por ejemplo: categoría (calle), jerarquía (1) y así para avenida el 2 y calles el número 3.

Tabla 7 Atributos del análisis de redes

Campo	Tipo	Precisión/ Length	Scale
FNODE_	LONG INTEGER	8	
TNODE_	LONG INTEGER	8	
NOMBRE	TEXT	50	
CATEGORÍA	TEXT	20	
ONEWAY	TEXT	9	
FT_MINUTES	DOUBLE	11	4
TF_MINUTES	DOUBLE	11	4
METERS	DOUBLE	11	4
HIERARCHY	DOUBLE	11	4

Fuente: (Ochoa, 2008)

4.2.1.3 Edición de la capa de puntos (nodos)

Para la edición de la capa de puntos se usa la herramienta “*Editor*”, empezando con la opción “*Start Editing*” y nos ubicamos en la capa a editar, en este caso en el shape de puntos creados anteriormente.



Ubicarse en la parte derecha de la ventana de Arcgis, seleccionar *“Create Features”*, posteriormente el shape de puntos, *“Construction Tools”*, se escoge la opción *point* y comenzar a dibujar los puntos (nodos). En el proceso de digitalización de los puntos se debe dibujar en los sitios donde se intersectan dos vías, al hacer esto se crean los nodos que serán almacenados en la tabla de atributos.

Una vez dibujados los puntos, se debe asignar un código a cada punto para poder identificarlos al momento de dibujar las vías y tener en cuenta cual es el nodo inicial y el final en la tabla de propiedades. Se procede a abrir la tabla de atributos *“open attributte table”* y se agrega un nuevo campo con el nombre *“Codigo”*.

Una vez terminado de editar todos los puntos se debe dar un stop a la edicion para lo cual dirigirse a la herramienta *“Editor”*, seleccionar la opcion *“Stop Editing”* y guardar la edición. Este Shape de puntos nos servira para la construccion de las lineas que van a representar las vias.

4.2.1.4 Edición de la capa de líneas (vías)

Al momento de dibujar las vías, la edición de la capa de líneas es la más importante, se debe agregar el código del nodo donde inicia *“FNODE_”* y el nodo final *“TNODE_”*. El procedimiento de la edición de las vías es similar al de los puntos (nodos), lo único que cambia es en *“Start Editing”*, seleccionar el shape de líneas (vías) y en *“Construction Tools”* seleccionar *“line”*.

Al dibujar las líneas se deben unir dos nodos, nodo inicial y nodo final respectivamente, luego de dibujada la línea se presiona la tecla de función *“F2”* para terminar el dibujo, o se puede hacer clic derecho y escoger la opción *“Finish Sketch”* para proceder a dibujar la siguiente línea.

En la línea creada se debe agregar los atributos correspondientes, estos son: categoría (carretera, avenida, calle, retorno, sin especificar), el nombre de la



vía y los valores de “FNODE_” y “TNODE_” según el sentido en el que se digitalizó la línea (Ochoa, 2008).

En la edición de las líneas asegurarse de la correcta unión entre los dos nodos (inicial y final), para comprobar que el valor de FNODE_ y TNODE_, de las vías ha sido ingresado correctamente en “*Symbol*”, escoger la opción “*Arrow at End*”.

Este símbolo permite que ArcMap, muestre el sentido de digitalización de la línea y de esta manera se pueda comprobar si los valores de “FNODE_” y “TNODE_” son correctos.

Una vez concluida la edición de las líneas ir a la herramienta “*Editor*”, seleccionar la opción “*Stop Editing*” y guardar la edición.

Ahora se procede al llenado de los campos en la tabla de atributos de la capa de líneas (Vías), esta información es indispensable para posteriormente poder crear el Networkdataset.

4.2.1.5 Campos de la tabla de atributos del shape de líneas (Vías)

4.2.1.5.1 Atributo de Distancia (metros)

Se debe contar con un atributo de distancia que almacene e indique la distancia del segmento, agregando un campo llamado “*METERS*”. Para el cálculo de la distancia, en la capa de líneas (vías), abrir la tabla de atributos posteriormente en el campo “*METERS*” escoger “*Calculate Geometry*”, en “*Property*” seleccionar “*Length*” y en “*Units*” seleccionar “*Meters (m)*”.

4.2.1.5.2 Atributo de sentido de vías (one_way)

Se debe contar con un atributo de sentido de vías, que almacene e indique la dirección de digitalización de cada segmento, agregando un campo llamado “*one_way*”.

El atributo one_way, indica el sentido de la circulación de cada vía. Si el desplazamiento es Desde – Hacia (desde el nodo inicial “FNODE_” hacia el



nodo final “TNODE_” que se encuentran en la tabla de atributos), el valor que se agrega en el campo es *FT* (From-To).

Si el desplazamiento de Hacia-Desde (desde el nodo final TNODE_” hacia el nodo inicial “FNODE_” que se encuentran en la tabla de atributos), el valor que se agrega en el campo es *TF* (To-From)(Ochoa, 2008).

Cuando el sentido es bidireccional el campo se deja vacío, o se puede colocar otro valor que indique el doble sentido de la vía por ejemplo “*BI*”.

4.2.1.5.3 Atributo de Jerarquía

Se debe contar con un atributo de Jerarquía, para establecer los límites de velocidad de circulación vehicular, agregando un campo llamado “*HIERARCHY*”.

El atributo de jerarquía reporta las funciones que el tramo de vía cumple dentro de la malla vial.

Es el ordenamiento de las carreteras que conforman el Sistema Nacional de Carreteras sobre la base de su funcionalidad e importancia (Hurtado, 2012).

En vías de retorno y sin especificar se toma como límite máximo 20 km/h, la jerarquía se designó de acuerdo a la siguiente tabla de velocidades. En la Tabla 8 se puede apreciar las diferentes categorías, así como la jerarquía con sus determinadas velocidades.

Tabla 8 Categorías y Velocidad en metros para el atributo “Jerarquía”

Categoría	Jerarquía	Velocidad (m/h)
Carretera	1	70000
Avenida	2	70000
Calles	3	40000
Retorno	4	20000
Sin especificar	5	20000



En la tabla de atributos de la capa de líneas en ArcGis se debe asignar el número correspondiente según la categoría de la línea dibujada.

4.2.1.5.4 Atributo de Tiempo

Se debe contar con un atributo de Tiempo, para establecer los minutos de desplazamiento en cada segmento, agregando dos campos llamados “FT_MINUTES” y “TF_MINUTES”.

Las dos columnas tendrán el mismo valor, pero FT_MINUTES será usada por Network Analyst para calcular el tiempo en minutos cuando el valor del atributo one_way sea “FT” y la columna TF_MINUTES será usada por Network Analyst cuando el valor del atributo one_way sea “TF”(Ochoa, 2008). A continuación se detalla el procedimiento de cálculo de atributo tiempo:

Para el cálculo del atributo tiempo se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$T = \frac{(M \times K)}{V}$$

Donde:

- T= tiempo de desplazamiento en cada segmento.
- M= distancia de cada segmento en metros.
- K=constante de tiempo 60 minutos.
- V=velocidad permitida según la categoría vial.

La aplicación de la fórmula se lo realizó de la siguiente manera según el segmento creado. La Tabla 9 muestra las diferentes fórmulas a aplicar según cada categoría para calcular el tiempo.

**Tabla 9 Categorías para cálculo de tiempo**

Categoría	Expresión
Carretera	$([Meters]*60)/70000$
Avenida	$([Meters]*60)/70000$
Calles	$([Meters]*60)/40000$
Retorno	$([Meters]*60)/20000$
Sin especificar	$([Meters]*60)/20000$

4.2.1.6 Creación de un Network Dataset

Cuando se crea una red a partir de shapefiles, se debe organizar en la misma carpeta todas las clases de entidad que participarán como orígenes (Esri, 2013b).

Los Dataset se crean a partir de entidades de origen que pueden incluir entidades simples como líneas y puntos (Esri, 2013b). El Dataset de red de shape file se creó a partir de un shape de líneas.

En *ArcCatalog* buscar la carpeta que contiene el shape de vías, una vez ubicado, mediante clic derecho seleccionar la opción *New Network Dataset* y asignarle un nombre al mismo. Se procede a modelar los giros dentro del dataset escogiendo la opción “YES”, en la ventana de conectividad “*Connectivity*” se debe escoger la opción *End Point* y dar clic en siguiente para aceptar las configuraciones por defecto para la conectividad con elevación.

Este es uno de los aspectos importantes a la hora de diseñar redes que contienen elementos de red que permiten comportamientos especiales al interior de ella, en la pestaña de Field se debe seleccionar *FNODE_* y *TNODE_* respectivamente, ya que esto representa los nodos iniciales y finales que estarán dentro del *Network Dataset*. (Ver Glosario).



Especificar los atributos y definir los valores, en esta ventana agregar el campo de Jerarquía de las calles, haciendo clic en *Add*, nombre de atributo “*HIERARCHY*”, en *Usage Type*, seleccionar *Hierarchy*. Posteriormente asignar las direcciones de manejo colocando los atributos correspondientes.

Dando clic en siguiente, se muestra una ventana que resumen todos los ajustes que se realizaron para su evaluación.

Como punto final el nuevo archivo shape se agrega en ArcCatalog, a su vez, se agrega el archivo de nodos, este archivo tiene el nombre de “*merge_de_vias_ND_Junctions*”.

4.2.1.7 Creación de Geodatabase para Red Vial.

Una Geodatabase de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común (Esri, 2013c).

4.2.1.7.1 Procedimiento para la creación de un Geodatabase

Se procede a crear una carpeta en la Unidad disco local, ingresando a *ArcCatalog*, buscar la carpeta y mediante clic derecho seleccionar *New Personal Geodatabase*, se le asigna el nombre de “*Geodatabase_Cuenca_Vias*” y por último se debe proyectar a las coordenadas “*WGS 1984 UTM Zone 17S*.”

Ahora al Geodatabase creado mediante clic derecho sobre éste, seleccionar *New- Feature Dataset* y asignarle el nombre de Redes.

4.2.1.7.2 Creación de un Network Dataset dentro del Geodatabase

Dando clic derecho sobre el *Feature Dataset*, creado anteriormente, seleccionar *New*, posteriormente *Network Dataset* y asignarle un nombre. En la ventana de conectividad que se despliega luego, se da clic en “*Connectivity*” escogiendo la opción *End Point*. Se debe asignar los campos apropiados, especificando que los campos de *FNODE_* y *TNODE_* se relacionan con From-



End y To-End respectivamente, especificar los atributos y definir los valores, en esta ventana se agrega el campo de Jerarquía de las calles, haciendo clic en *Add*, nombre de atributo “*HIERARCHY*” y en *Usage Type: Hierarchy*. Una vez terminado se muestra una ventana que resumen todos los ajustes que se han hecho para su evaluación.

4.2.2 Elaboración del mapa temático de predios de la ciudad de Cuenca

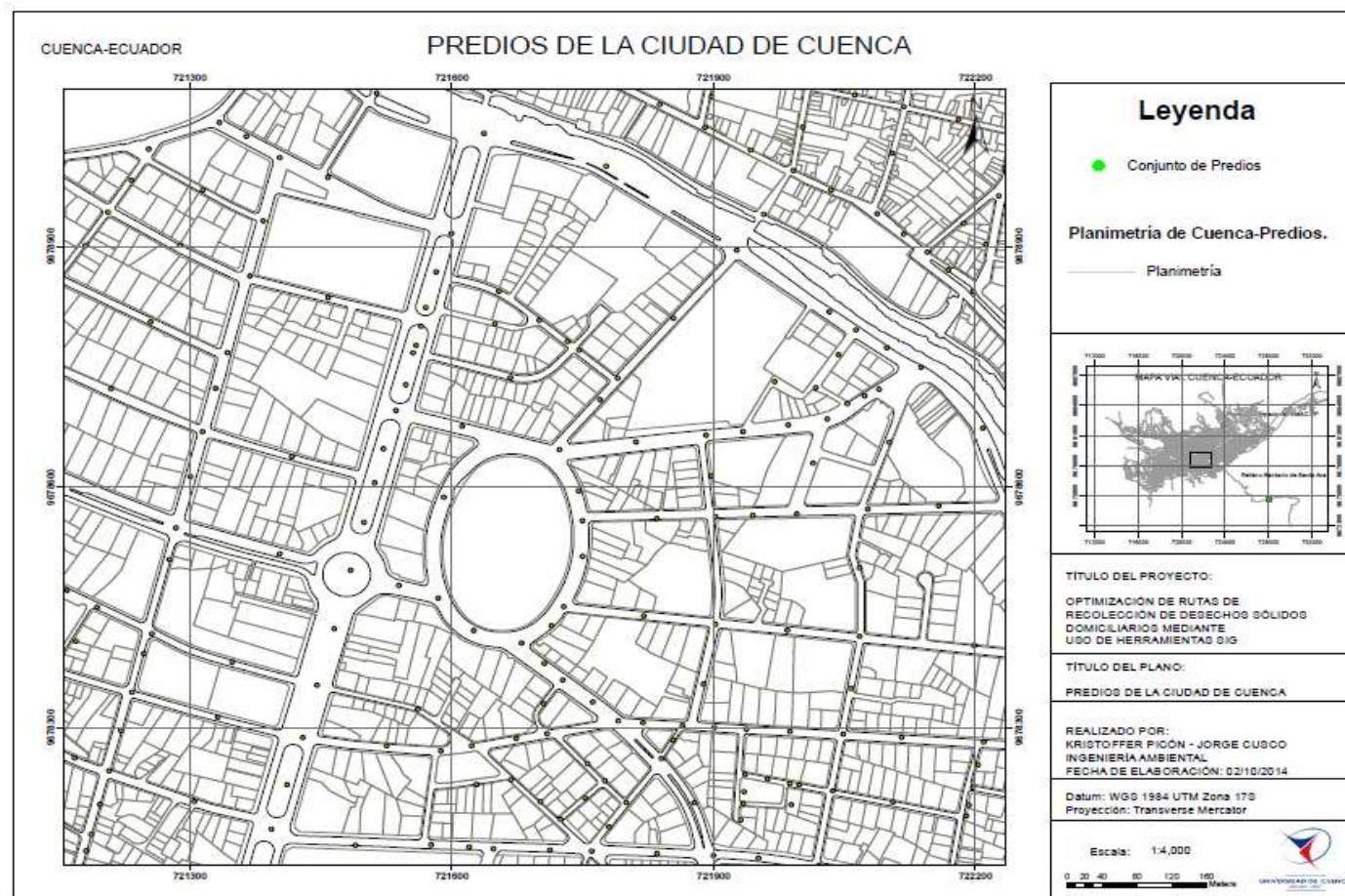
Se procede a crear un nuevo shape con el nombre de predios Cuenca, este va a representar todas las casas de la ciudad de Cuenca, a las que la EMAC EP presta el servicio de recolección. Una vez creado y proyectado, agregar las vías ya hechas anteriormente y la planimetría de la ciudad de Cuenca.

Para empezar con la edición, clic en *Editor, Start Editing*, seleccionar puntos casa posteriormente seleccionar “*Point*” ubicado en la esquina inferior derecha de la ventana de trabajo.

Procedemos a colocar los puntos en cada una de las figuras hasta completar todo el mapa de la ciudad. Una vez terminado de colocar todos los puntos, dar clic en *Editor, Save Edits y Stop Editing*. Guardamos el archivo y se tiene el shape con los predios de la ciudad de Cuenca.

La Imagen 4 muestra la planimetría de la ciudad de Cuenca con sus respectivas vías. Cada polígono de color gris representa una predio de la ciudad de Cuenca, Los puntos de color verde colocados en la mitad de cada bloque corresponden a un grupo de casas, estos puntos representan la sumatoria de residuos sólidos generados por el total de casas que se encuentran en un bloque o en una cuadra para mayor facilidad de resolución en el programa Arcgis.

Imagen 4 Predios de la ciudad de Cuenca





4.2.3 Análisis y optimización de rutas nuevas

Para la optimización de las rutas de recolección de desechos sólidos, se analizaron las rutas obtenidas mediante Arcgis 10.1, en las que se ha establecido la recolección de puerta a puerta, recorriendo todas las calles y avenidas de la ciudad de Cuenca, aplicando las siguientes restricciones: límites de velocidad máximo permitidos, tanto en zonas urbanas y autopistas y virajes en U. Para la optimización de las rutas se tuvo que analizar el tiempo de recolección por cada predio, basándonos en las rutas actuales.

Ahora se procede a buscar las mejores rutas para una flota de vehículos recolectores, usados por la EMAC EP, para cumplir con el servicio de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Cuenca. El objetivo es asignar a cada camión un subconjunto de las casas a las que prestará el servicio y establecer la secuencia de recolección; para esto se procedió a dividir a la ciudad de Cuenca en 4 cuadrantes: noreste, noroeste, sureste y suroeste.

Para resolver este problema dirigirse a *Network Analyst* en la barra de herramientas de ArcGis y seleccionar Problema de generación de rutas para vehículos nuevos (*New Vehicle Routing Problem*). Se agrega una tabla de contenido donde se deben adicionar Órdenes, Depósitos, Rutas, Visitas a depósito, Rupturas, Zonas de ruta, Puntos de semilla de ruta, Reanudaciones de ruta para su posterior análisis.

En “*Órdenes*” cargamos un conjunto de casas estas representaran paradas a lo largo de las rutas de los vehículos. En la ventana de *Network Analyst*, haga clic con el botón derecho en *Órdenes* (0) y elija cargar ubicaciones (*Load Locations*). Se abre un cuadro de diálogo cargar ubicaciones, seleccione Almacenamientos en la lista desplegable Cargar ubicaciones.

En “*Depósitos*” agregar primero; la planta de operaciones de la EMAC EP, lugar desde donde salen los camiones recolectores. Escribir 8:00 am para la propiedad *TimeWindowStart1* y para la hora de término de actividades o



jornada laboral “*Time End*” colocar la hora dependiendo de cada ruta y finalmente adicionar el relleno sanitario colocando los atributos correspondientes.

En agregar ruta se selecciona la nueva ruta adicionándole los atributos correspondientes, una vez terminado todos los ajustes, se procede a resolver el problema dando clic en el botón “*Resolver*” ubicado en la barra de herramientas de *Network Analyst*, y se calculan las rutas que deberán seguir los camiones recolectores para cumplir con el servicio.

Como resultado se obtiene una nueva ruta para su posterior análisis. En el presente estudio se obtuvieron 19 rutas en total.

4.2.4 Evaluación de consumo y optimización:

Se realizó el análisis del consumo de combustible por parte de los camiones recolectores, los datos fueron proporcionados por la EMAC EP mediante un informe en él se especifica que el rendimiento promedio de los camiones recolectores, los mismos que están detallados en la Tabla 10 adicionalmente se utilizó la Tabla 14 para realizar el cálculo de las emisiones de CO₂, CH₄ y NO₂. La primera columna muestra el consumo de diésel en galones por un año en cada ruta, en las columnas siguientes se hizo el cálculo de las emisiones de gases contaminantes para lo cual se utilizaron factores de emisión de los tres gases: CO₂, CH₄ en y NO₂ los mismos que se pueden observar en la Tabla 11.

Tabla 10 Rendimiento de los camiones recolectores-diésel (km/gal)

Camión Recolector	Rendimiento combustible- diésel (km/gal)	Tonelaje	Año de fabricación
Kenworth	4.10	15	2012
Sterling	2.59	13	2003
Volskwagen	2.59	14	2011

Fuente:(Bermeo, 2014).

**Tabla 11 Factores de emisión del CH₄, NO₂, CO₂**

Transporte- Carretera		
		OIL
Factores de emisión (kg/TJ)	Gasolina	Diésel
CH ₄	20.00	5.00
NO ₂	0.60	0.60
CO ₂	69.30	74.10

Fuente:(GCE, 2009).

Las emisiones procedentes de todas las fuentes de combustión se calculan multiplicando la cantidad de combustible consumido por un factor de emisión detallados por cada tipo de combustible basándose en la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$Emisiones = \sum (Factor\ de\ emisión_{abc} * Consumo\ de\ combustible_{abc})$$

Donde:

- a: tipo de combustible
- b: actividad del sector
- c: tipo de tecnología

El cálculo se realizaron de la siguiente manera para cada una de las rutas: el valor calórico del diésel multiplicado por el consumo de combustible se obtiene la energía, posteriormente multiplicando la energía por el factor de emisión del CO₂, se obtiene la emisión de éste gas. La emisión de CH₄ se obtiene multiplicando la energía por el factor de emisión del metano (GCE, 2009).

La emisión de kilogramos de CO₂ por kilogramos de CH₄, se obtiene multiplicando la emisión del metano por el potencial de calentamiento del metano. Las emisiones del NO₂ se obtienen multiplicando la energía por el factor de emisión del NO₂, posteriormente calcular la emisión de kilogramos de CO₂ por kilogramos de NO₂; multiplicando la emisión del NO₂ por el potencial de calentamiento del NO₂. Por último se suman todas las emisiones de CO₂ y se tiene el resultado en kg por año.



4.3 Comparación de resultados

Una vez hecho el análisis de las rutas de recolección actuales se aplica la siguiente metodología para la obtención de resultados, tomando en cuenta los siguientes aspectos: distancia recorrida en cada una de las rutas, el tiempo empleado en la recolección, el consumo de combustible y las emisiones que producen los camiones recolectores aplicando la siguiente ecuación de comparación.

Ecuación 3

$$Co = \frac{V \text{ Inicial} - V \text{ Final}}{V \text{ Inicial}}$$

Donde:

V Inicial: Valor inicial a introducir.

V Final: Valor final a introducir.

5 RESULTADOS

5.1 Rutas actuales de recolección de RSM de Cuenca

Las ruta actuales establecidas por la EMAC EP están referidas en la Tabla 1, donde los sufijos C1 hasta C24 corresponden a los sectores céntricos de la ciudad de Cuenca mientras que P1 hasta P24 se refiere a sus sectores periféricos. El análisis de las rutas actuales de recolección de residuos sólidos se muestra en las siguientes tablas:

En la Tabla 12, se puede observar cada una de las rutas están ordenadas por sufijos, la distancia que se recorre en cada una de ellas y el tiempo que se emplea en la recolección. Se pueden observar en los sectores céntricos que para cumplir con el servicio de recolección se recorre una distancia promedio de 25.9 km, siendo la ruta más larga la C7 con una distancia de 61.46 km en la que se emplea 4.92 horas para cumplir con el servicio, mientras que la ruta más corta tiene 7.77 km misma que corresponde a la ruta C22 en esta, el tiempo empleado para la recolección es de 1.43 horas.



Como se puede observar existen sectores en los que se recorre mayor cantidad de distancia en comparación con otros lo que evidencia que existe una inadecuada distribución de las zonas de recolección.

Tabla 12 Rutas Actuales Sectores Céntricos

Sectores	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
C1	28.8	5:30
C2	37.91	7:11
C3	36.56	5:30
C4	29.5	5:08
C5	23.32	4:12
C6	25.13	4:18
C7	61.46	4:55
C8	21.03	6:18
C9	30.16	2:53
C10	12.94	2:45
C11	27.44	3:05
C12	13.59	2:39
C13	34.78	4:16
C14	15.3	3:04
C15	44.36	3:54
C16	57.8	5:40
C17	15.88	2:09
C18	8.37	1:27
C19	29.33	3:20
C20	10.55	1:27
C21	11.08	1:50
C22	7.77	1:43
C23	10.8	1:40
C24	27.81	2:43
TOTAL	621.67	87:48

En la Tabla 13 se pueden observar detalladamente los sectores periféricos. Para cumplir con el servicio de recolección se recorre una distancia promedio de 37.52 km, siendo la ruta más larga la P6 con una distancia total de 60.02 km empleando en la misma un tiempo de recorrido de 6.55 horas. La ruta más corta tiene una distancia de 8.90 km misma que corresponde la ruta P18, con un tiempo de recorrido de 1.36 horas.

**Tabla 13 Rutas Actuales Sectores Periféricos**

Sectores	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
P1	94.12	8:42
P2	58.81	9:54
P3	43.91	7:22
P4	32.90	4:58
P5	49.06	6:39
P6	60.02	6:33
P7	54.41	9:13
P8	54.36	7:46
P9	44.58	4:27
P10	31.21	3:55
P11	46.17	6:10
P12	28.29	4:14
P13	20.96	4:14
P14	58.98	4:27
P15	72.90	7:34
P16	25.02	4:23
P17	16.93	2:25
P18	8.90	1:22
P19	15.02	2:21
P20	16.41	2:27
P21	20.18	2:20
P22	17.31	2:36
P23	14.01	1:23
P24	16.06	2:46
Total	900.52	118:20

Los resultados en resumen referidos al consumo de combustible (Diésel) y las emisiones de gases que producen los camiones recolectores correspondientes al sector céntrico de la ciudad se presentan en la Tabla 15. Los cálculos del consumo de combustible así como de las emisiones fueron hechos usando la Tabla 14, donde los resultados muestran que existe una emisión promedio de 36.83 toneladas de CO₂ en un año (GCE, 2009). Los cálculos se realizaron para un lapso de un año, para el cálculo de las emisiones se utilizó la Ecuación 2.

Tabla 14 Emisiones por Consumo de Combustible en 1 año Sectores Céntricos

SECTORES	Consumo de combustible fósil (Diesel)		Valor calórico neto C. fósil	Energía en forma de calor y trabajo	Factor Emisión CO ₂ del C. Fósil	Emisión de CO ₂ por la combustión de combustible fósil	Factor Emisión de CH ₄ del C. fósil	Emisión CH ₄ por la combustión del C. fósil	Potencial de calentamiento del CH ₄	Emisión de kg de CO ₂ por kg de CH ₄	Factor Emisión de N ₂ O del C. fósil	Emisión CH ₄ por la combustión de C. fósil	Potencial Calentamiento del N ₂ O	Emisión de kg de CO ₂ por kg de N ₂ O	TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ DEBIDO A LA COMBUSTIÓN DEL COMBUSTIBLE FÓSIL	
			VCN	Energía	F.E. CO ₂	Emisión CO ₂	F.E. CH ₄	Emisión CH ₄	Factor	CO ₂ x CH ₄	F.E. N ₂ O	Emisión N ₂ O	Factor	CO ₂ x N ₂ O	Tot. Emi. CO ₂	
	(gal)	(kt) ó (Gg)	(TJ/Gg)	(TJ)	(kg CO ₂ /TJ)	(kg)	(kg CH ₄ /TJ)	(kg)		(kg)	(kg N ₂ O/TJ)	(kg)		(kg)	(kg)	(t)
	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	0016
C1	4.058,69	0,01	43,00	0,55	74.100	40.778,83	5	2,75	25	68,79	0,60	0,33	298,00	96,40	40.946,02	40,95
C2	5.342,53	0,02	43,00	0,72	74.100	53.677,97	5	3,62	25	90,55	0,60	0,43	298,00	129,52	53.898,04	53,90
C3	5.152,28	0,02	43,00	0,70	74.100	51.766,46	5	3,49	25	87,33	0,60	0,42	298,00	124,91	51.978,70	51,98
C4	4.157,34	0,01	43,00	0,56	74.100	41.769,98	5	2,82	25	70,46	0,60	0,34	298,00	100,79	41.941,24	41,94
C5	3.286,41	0,01	43,00	0,46	74.100	33.019,53	5	2,23	25	55,70	0,60	0,27	298,00	79,67	33.154,90	33,15
C6	3.541,49	0,01	43,00	0,48	74.100	35.582,36	5	2,40	25	60,02	0,60	0,29	298,00	85,86	35.728,25	35,73
C7	8.661,35	0,03	43,00	1,17	74.100	87.023,16	5	5,87	25	146,80	0,60	0,70	298,00	209,98	87.379,94	87,38
C8	2.963,69	0,01	43,00	0,40	74.100	29.777,04	5	2,01	25	50,23	0,60	0,24	298,00	71,85	29.899,13	29,90
TOTAL:	37.163,76	0,12	43,00	5,04	74.100	373.395,34	5	25,20	25	629,88	0,60	3,02	298,00	900,99	374.926,22	374,93
C9	4.250,35	0,01	43,00	0,58	74.100	42.704,50	5	2,88	25	72,04	0,60	0,35	298,00	103,04	42.879,58	42,88
C10	1.823,59	0,01	43,00	0,25	74.100	18.322,16	5	1,24	25	30,91	0,60	0,15	298,00	44,21	18.397,27	18,40
C11	3.867,03	0,01	43,00	0,52	74.100	38.853,17	5	2,62	25	65,54	0,60	0,31	298,00	93,75	39.012,46	39,01
C12	1.915,19	0,01	43,00	0,26	74.100	19.242,51	5	1,30	25	32,46	0,60	0,16	298,00	46,43	19.321,40	19,32
C13	4.901,43	0,02	43,00	0,66	74.100	49.246,10	5	3,32	25	83,07	0,60	0,40	298,00	118,83	49.448,01	49,45
C14	2.156,18	0,01	43,00	0,29	74.100	21.863,75	5	1,46	25	36,54	0,60	0,18	298,00	52,27	21.752,57	21,75
C15	6.251,51	0,02	43,00	0,85	74.100	62.810,73	5	4,24	25	105,96	0,60	0,51	298,00	151,56	63.068,25	63,07
C16	8.145,56	0,03	43,00	1,10	74.100	81.840,85	5	5,52	25	138,06	0,60	0,66	298,00	197,48	82.176,39	82,18
TOTAL:	33.310,83	0,11	43,00	4,52	74.100	334.683,77	5	22,58	25	564,58	0,60	2,71	298,00	807,58	336.055,93	336,06
C17	2.237,92	0,01	43,00	0,30	74.100	22.485,00	5	1,52	25	37,93	0,60	0,18	298,00	54,26	22.577,18	22,58
C18	1.179,56	0,00	43,00	0,16	74.100	11.851,35	5	0,80	25	19,99	0,60	0,10	298,00	28,60	11.899,94	11,90
C19	4.133,38	0,01	43,00	0,56	74.100	41.529,28	5	2,80	25	70,06	0,60	0,34	298,00	100,21	41.699,54	41,70
C20	1.486,78	0,00	43,00	0,20	74.100	14.938,08	5	1,01	25	25,20	0,60	0,12	298,00	36,04	14.999,32	15,00
C21	1.561,47	0,00	43,00	0,21	74.100	15.688,52	5	1,06	25	26,47	0,60	0,13	298,00	37,86	15.752,84	15,75
C22	1.095,00	0,00	43,00	0,15	74.100	11.001,79	5	0,74	25	18,56	0,60	0,09	298,00	26,55	11.046,90	11,05
C23	1.522,01	0,00	43,00	0,21	74.100	15.292,06	5	1,03	25	25,80	0,60	0,12	298,00	36,90	15.354,76	15,35
C24	3.919,17	0,01	43,00	0,53	74.100	39.377,06	5	2,66	25	66,43	0,60	0,32	298,00	95,02	39.538,50	39,54
TOTAL	17.135,27	0,05	43,00	2,32	74.100	172.163,13	5	11,62	25	290,42	0,60	1,39	298,00	415,42	172.868,98	172,87

Fuente: Analuisa, 2014

Tabla 15 Consumo de combustible y Emisiones en un Año

Sectores	Consumo de Combustible (gal/año)	Emisión CH ₄ (kg/año)	Emisión NO ₂ (kg/año)	Emisión CO ₂ (kg/año)
C1	4,058.69	2.75	0.33	40,946.02
C2	5,342.53	3.62	0.43	53,898.04
C3	5,152.28	3.49	0.42	51,978.70
C4	4,157.34	2.82	0.34	41,941.24
C5	3,286.41	2.23	0.27	33,154.90
C6	3,541.49	2.40	0.29	35,728.25
C7	8,661.35	5.87	0.70	87,379.94
C8	2,963.69	2.01	0.24	29,899.13
C9	4,250.35	2.88	0.35	42,879.58
C10	1,823.59	1.24	0.15	18,397.27
C11	3,867.03	2.62	0.31	39,012.46
C12	1,915.19	1.30	0.16	19,321.40
C13	4,901.43	3.32	0.40	49,448.01
C14	2,156.18	1.46	0.18	21,752.57
C15	6,251.51	4.24	0.51	63,068.25
C16	8,145.56	5.52	0.66	82,176.39
C17	2,237.92	1.52	0.182	22,577.18
C18	1,179.56	0.80	0.096	11,899.94
C19	4,133.38	2.80	0.336	41,699.54
C20	1,486.78	1.01	0.121	14,999.32
C21	1,561.47	1.06	0.127	15,752.84
C22	1,095.00	0.74	0.089	11,046.90
C23	1,522.01	1.03	0.124	15,354.76
C24	3,919.17	2.66	0.319	39,538.50
Total	87,609.86	59.40	7.13	883,851.12

Se puede observar en la Tabla 15, que la ruta con mayor consumo de combustible es la ruta C7 con un total de 8,661.35 galones de diésel al año, de igual manera la emisión de gases también es mayor ya que se tiene: 5.87 kg/año de CH₄, 0.70 kg/año de NO₂ y 87,379.94 kg/año de CO₂. La ruta que menor consumo de combustible presenta es la ruta C22 con un total de 1,095.00 gal/año de combustible mientras que en las emisiones se tiene un total de 0.74 kg/año de CH₄, 0.089 kg/año de NO₂ y 11,046.90 kg/año de CO₂.

Los resultados del consumo de combustible y emisiones en el sector periférico se muestran en la Tabla 17, donde se puede observar que existe un promedio de 52.55 toneladas de CO₂ en un año (GCE, 2009). Los cálculos se realizaron usando los datos de la Tabla 16 en esta se calcularon el consumo de combustible en un lapso de un año de igual manera como se hizo para el sector céntrico.

Tabla 16 Emisiones por Consumo de Combustible en 1 año Sectores Periféricos

Sectores	Consumo de combustible fósil (Diésel)		Valor calórico neto del c. fósil	Energía en forma de calor y trabajo	Factor de emisión de CO ₂ del comb. fósil	Emisión de CO ₂ por la combustión de combustible fósil	Factor de emisión de CH ₄ del comb. fósil	Emisión de CH ₄ por la combustión del comb. fósil	Potencial de calentamiento del CH ₄	Emisión de kg de CO ₂ por kg de CH ₄	Factor de emisión de N ₂ O del comb. fósil	Emisión de CH ₄ por la combustión de comb. fósil	Potencial de calentamiento del N ₂ O	Emisión de kg de CO ₂ por kg de N ₂ O	TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ DEBIDO A LA COMBUSTIÓN DEL COMBUSTIBLE FÓSIL	
			VCN	Energía	F.E. CO ₂	Emisión CO ₂	F.E. CH ₄	Emisión CH ₄	Factor	CO ₂ x CH ₄	F.E. N ₂ O	Emisión N ₂ O	Factor	CO ₂ x N ₂ O	Tot. Emi. CO ₂	
	(gal)	(kt) ó (Gg)	(TJ/Gg)	(TJ)	(kg CO ₂ /TJ)	(kg)	(kg CH ₄ /TJ)	(kg)		(kg)	(kg N ₂ O/TJ)	(kg)		(kg)	(kg)	(t)
	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014	0015	0016
P1	13 264,02	0,04	43,00	1,80	74,100	133 267,49	5	8,99	25	224,81	0,60	1,08	298,00	321,57	133 813,87	133,81
P2	8 287,90	0,03	43,00	1,12	74,100	83 270,94	5	5,62	25	140,47	0,60	0,67	298,00	200,93	83 612,34	83,61
P3	6 188,09	0,02	43,00	0,84	74,100	62 173,56	5	4,20	25	104,88	0,60	0,50	298,00	150,02	62 428,46	62,43
P4	4 636,49	0,01	43,00	0,63	74,100	46 584,15	5	3,14	25	78,58	0,60	0,38	298,00	112,41	46 775,14	46,78
P5	6 913,86	0,02	43,00	0,94	74,100	69 465,61	5	4,69	25	117,18	0,60	0,56	298,00	167,62	69 750,41	69,75
P6	8 458,42	0,03	43,00	1,15	74,100	84 984,22	5	5,73	25	143,36	0,60	0,69	298,00	206,06	85 332,64	85,33
P7	7 667,82	0,02	43,00	1,04	74,100	77 040,84	5	5,20	25	129,96	0,60	0,62	298,00	185,90	77 366,70	77,36
P8	7 660,77	0,02	43,00	1,04	74,100	76 970,05	5	5,19	25	129,84	0,60	0,62	298,00	185,73	77 285,61	77,29
TOTAL	63077,36	0,20	43,00	8,55	74,100	633 756,86	5	42,76	25	1 069,09	0,60	5,13	298,00	1 529,23	636 355,18	636,36
P9	6 282,51	0,02	43,00	0,85	74,100	63 122,23	5	4,26	25	106,48	0,60	0,51	298,00	152,31	63 381,03	63,38
P10	4 398,32	0,01	43,00	0,60	74,100	44 191,23	5	2,98	25	74,55	0,60	0,36	298,00	106,63	44 372,41	44,37
p11	6 506,58	0,02	43,00	0,88	74,100	65 373,57	5	4,41	25	110,28	0,60	0,53	298,00	157,74	65 641,59	65,64
P12	3 986,81	0,01	43,00	0,54	74,100	40 056,71	5	2,70	25	67,57	0,60	0,32	298,00	96,66	40 220,93	40,22
P13	2 953,82	0,01	43,00	0,40	74,100	29 677,93	5	2,00	25	50,06	0,60	0,24	298,00	71,61	29 799,60	29,80
P14	8 311,85	0,03	43,00	1,13	74,100	83 511,65	5	5,64	25	140,88	0,60	0,68	298,00	201,51	83 854,04	83,85
P15	10 273,55	0,03	43,00	1,39	74,100	103 221,42	5	6,97	25	174,13	0,60	0,84	298,00	249,07	103 644,61	103,64
P16	3 525,98	0,01	43,00	0,48	74,100	35 426,61	5	2,39	25	59,76	0,60	0,29	298,00	86,48	35 571,86	35,57
TOTAL	46 239,44	0,15	43,00	6,27	74,100	464 581,35	5	31,35	25	783,71	0,60	3,76	298,00	1 121,01	466 486,07	466,49
P17	2 385,89	0,01	43,00	0,32	74,100	23 971,72	5	1,62	25	40,44	0,60	0,19	298,00	57,84	24 070,00	24,07
P18	1 254,25	0,00	43,00	0,17	74,100	12 601,79	5	0,85	25	21,26	0,60	0,10	298,00	30,41	12 653,46	12,65
P19	2 116,72	0,01	43,00	0,29	74,100	21 267,29	5	1,44	25	35,88	0,60	0,17	298,00	51,32	21 354,49	21,35
P20	2 312,61	0,01	43,00	0,31	74,100	23 235,44	5	1,57	25	39,20	0,60	0,19	298,00	56,07	23 330,70	23,33
P21	2 843,90	0,01	43,00	0,39	74,100	28 573,50	5	1,93	25	48,20	0,60	0,23	298,00	68,95	28 690,65	28,69
P22	2 439,44	0,01	43,00	0,33	74,100	24 509,78	5	1,65	25	41,35	0,60	0,20	298,00	59,14	24 610,26	24,61
P23	82,31	0,00	43,00	0,01	74,100	826,94	5	0,06	25	1,39	0,60	0,01	298,00	2,00	830,33	0,83
P24	2 263,28	0,01	43,00	0,31	74,100	22 739,86	5	1,53	25	38,36	0,60	0,18	298,00	54,87	22 833,09	22,83
TOTAL	15 698,39	0,05	43,00	2,13	74,100	157 726,33	5	10,64	25	266,07	0,60	1,28	298,00	380,59	158 372,99	158,37

Fuente: (Analuisa, 2014).

**Tabla 17 Consumo de Combustible y Emisiones en un Año**

Sectores	Consumo de Combustible (gal/año)	Emisión CH₄ (kg/año)	Emisión NO₂ (kg/año)	Emisión CO₂ (kg/año)
P1	13,264.02	8.99	1.08	133,813.87
P2	8,287.90	5.62	0.67	83,612.34
P3	6,188.09	4.20	0.50	62,428.46
P4	4,636.49	3.14	0.38	46,775.14
P5	6,913.86	4.69	0.56	69,750.41
P6	8,458.42	5.73	0.69	85,332.64
P7	7,667.82	5.20	0.62	77,356.70
P8	7,660.77	5.19	0.62	77,285.61
P9	6,282.51	4.26	0.51	63,381.03
P10	4,398.32	2.98	0.36	44,372.41
p11	6,506.58	4.41	0.53	65,641.59
P12	3,986.81	2.70	0.32	40,220.93
P13	2,953.82	2.00	0.24	29,799.60
P14	8,311.85	5.64	0.68	83,854.04
P15	10,273.55	6.97	0.84	103,644.61
P16	3,525.98	2.39	0.29	35,571.86
P17	2,385.89	1.62	0.19	24,070.00
P18	1,254.25	0.85	0.10	12,653.46
P19	2,116.72	1.44	0.17	21,354.49
P20	2,312.61	1.57	0.19	23,330.70
P21	2,843.90	1.93	0.23	28,690.65
P22	2,439.44	1.65	0.20	24,610.26
P23	82.31	0.06	0.01	830.33
P24	2,263.28	1.53	0.18	22,833.09
Total	125,015.18	84.75	10.17	1,261,214.24

Es posible establecer que el promedio de consumo de combustible es de 5,208.97 gal/año. La ruta que mayor consumo de combustible presenta es la ruta P1 con un total de 13,264.02 gal/año, en cuanto a las emisiones se tiene: 8.99 kg/año de CH₄, 1.08 kg/año de NO₂ y 133,813.87 kg/año de CO₂. En cambio la que menor consumo presenta es la ruta P23 con un total de 82.31 gal/año de combustible-diésel y las emisiones resultantes son: 0.06 kg/año de CH₄, 0.01 kg/año de NO₂ y 830.33 kg/año de CO₂.

Las rutas actuales obtenidas se encuentran en el Anexo 1. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:



- Distancia total recorrida: 1,508.76 km
- Tiempo empleado: 204:27 horas.
- Consumo de combustible: 212,625.05 gal/año
- Costo de combustible-diésel: 1.037 dólares por galón
- Emisiones de CO₂: 2,145.06 ton/año

5.2 Determinación de rutas optimizadas de recolección de RSM de Cuenca

Para la optimización de las nuevas rutas se dividió a la ciudad de Cuenca en 4 cuadrantes: noreste, noroeste, sureste y suroeste, respectivamente. Esto debido a que la capacidad de cómputo usada no fue suficiente para resolver las miles de iteraciones que necesita el modelo para obtener un resultado óptimo al introducir el total de predios de la ciudad de Cuenca para su resolución. En el cuadrante noreste se obtuvieron un total de 6 rutas para cumplir con el servicio de recolección de todos los predios, en el cuadrante noroeste se obtuvieron 4 rutas, en el sureste 4 rutas y en el suroeste 5 rutas, dando un total de 19 rutas las mismas que abarcan toda la ciudad de Cuenca. Las nuevas rutas se muestran en el Anexo 2.

El análisis de las nuevas rutas obtenidas se realiza teniendo en cuenta la distancia recorrida, el tiempo de recolección, el consumo de combustible y las emisiones generadas en cada uno de los cuadrantes: noreste, noroeste, sureste y suroeste. Cada una de las rutas está representada por los sufijos con nombre del cuadrante correspondiente y el número de ruta (Noreste1, Noroeste2, Sueste1, etc.).

En la Tabla 18 se puede observar las características de las rutas correspondientes al cuadrante noreste. Se puede observar que la ruta más larga corresponde a la ruta Noreste 6 con un total de 196,71 km de recorrido durante la recolección de los residuos sólidos empleando un tiempo de 7,23



horas mientras que la ruta con menor recorrido es la ruta Noreste 1 con una distancia de 52,96 km y con un tiempo de 4,40 horas.

Tabla 18 Rutas Optimizadas Noreste

Rutas	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
Noreste 1	52.96	4:24
Noreste 2	59.21	4:04
Noreste 3	76.67	4:10
Noreste 4	64.20	3:45
Noreste 5	80.51	3:55
Noreste 6	196.71	7:14
Total	530.26	27:34

En la Tabla 19 se observan las características de las rutas correspondientes al cuadrante noroeste. Se puede observar que la ruta más larga corresponde a la ruta Noroeste 3 con un total de 111.03 km de recorrido durante la recolección de los residuos sólidos empleando un tiempo de 5.70 horas mientras que la ruta con menor recorrido es la ruta Noroeste 2 con una distancia de 58.88 km y con un tiempo de 3.12 horas.

Tabla 19 Rutas Optimizadas Noroeste

Rutas	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
Noroeste 1	66,91	3:46
Noroeste 2	58,88	3:07
Noroeste 3	111,03	5:42
Noroeste 4	79,78	3:01
Total	316,60	15:38

La Tabla 20 muestra las características de las rutas correspondientes al cuadrante Sureste. Se puede observar que la ruta más larga corresponde a la ruta Sureste 4 con un total de 100.42 km de recorrido durante la recolección de los residuos sólidos empleando un tiempo de 4.04 horas mientras que la ruta con menor recorrido es la ruta Sureste1 con una distancia de 55.91 km y con un tiempo de 4.71 horas.

**Tabla 20 Rutas Optimizadas Sureste**

Ruta	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
Sureste 1	55.91	4:42
Sureste 2	63.67	4:14
Sureste 3	65.50	3:56
Sureste 4	100.42	4:02
Total	285.49	16:55

La Tabla 21 muestra las características de las rutas correspondientes al cuadrante Suroeste. Se puede observar que la ruta más larga corresponde a la ruta Suroeste 4 con un total de 149.79 km de recorrido durante la recolección de los residuos sólidos empleando un tiempo de 6.59 horas mientras que la ruta con menor recorrido es la ruta Suroeste1 con una distancia de 65.29 km y con un tiempo de 4.22 horas.

Tabla 21 Rutas Optimizadas Suroeste

Ruta	Distancia (km)	Tiempo (Horas:Min)
Suroeste 1	65.29	4:13
Suroeste 2	78.63	4:30
Suroeste 3	78.03	4:33
Suroeste 4	149.79	6:35
Suroeste 5	147.41	5:52
Total	519.15	25:46

A continuación se presentan los resultados referidos al consumo de combustible, diésel, y las emisiones de gases que producen los camiones recolectores de las nuevas rutas obtenidas, los cálculos fueron hechos de la misma forma como se calculó el consumo y emisiones para las rutas actuales usando la Ecuación 2. La Tabla 22 corresponde al cuadrante Noreste donde se observa que la ruta que mayor consumo de combustible presenta es la ruta Noreste 6 con un total de 27,721.21 gal/año, en cuanto a las emisiones se tiene: 11.27 kg/año de CH₄, 2.25 kg/año de NO₂ y 279,477.12 kg/año de CO₂. En cambio la que menor consumo presenta es la ruta Noreste 1 con un total de



4,714.92 gal/año de combustible-diésel y las emisiones resultantes son: 1.91 kg/año de CH₄, 0.38 kg/año de NO₂ y 47,534.52 kg/año de CO₂.

Tabla 22 Consumo de combustible y emisiones por año cuadrante Noreste

Ruta	Consumo Combustible (gal/año)	Emisión CH ₄ (kg/año)	Emisión NO ₂ (kg/año)	Emisión CO ₂ (kg/año)
Noreste 1	4,714.92	1.91	0.38	47,534.52
Noreste 2	8,344.07	3.39	0.67	84,122.51
Noreste 3	10,805.13	4.39	0.87	108,934.19
Noreste 4	9,047.23	3.68	0.73	91,211.59
Noreste 5	11,346.08	4.61	0.92	114,387.89
Noreste 6	27,721.20	11.27	2.25	279,477.12
Total	71,978.63	29.25	5.82	725,667.82

La Tabla 23 corresponde al cuadrante Noroeste donde se observa que la ruta que mayor consumo de combustible presenta es la ruta Noroeste 3 con un total de 9,884.72 gal/año, en cuanto a las emisiones se tiene: 4.02 kg/año de CH₄, 0.80 kg/año de NO₂ y 99,654.88 kg/año de CO₂. En cambio la que menor consumo presenta es la ruta Noroeste 2 con un total de 5,241.59 gal/año de combustible-diésel y las emisiones resultantes son: 2.13 kg/año de CH₄, 0.42 kg/año de NO₂ y 52,844.19 kg/año de CO₂.

Tabla 23 Consumo de combustible y emisiones por año cuadrante Noroeste

Ruta	Consumo Combustible (gal/año)	Emisión CH ₄ (kg/año)	Emisión NO ₂ (kg/año)	Emisión CO ₂ (kg/año)
Noroeste 1	5,956.87	2.42	0.48	60,055.51
Noroeste 2	5,241.59	2.13	0.42	52,844.19
Noroeste 3	9,884.72	4.02	0.80	99,654.88
Noroeste 4	7,101.92	2.88	0.57	71,599.50
Total	28,185.10	11.45	2.27	284,154.08



La Tabla 24 corresponde al cuadrante Sureste donde se observa que la ruta que mayor consumo de combustible presenta es la ruta Sureste 4 con un total de 14,151.15 gal/año, en cuanto a las emisiones se tiene: 5.75 kg/año de CH₄, 1.15 kg/año de NO₂ y 343.07 kg/año de CO₂. En cambio la que menor consumo presenta es la ruta Sureste 1 con un total de 4,977.56 gal/año de combustible-diésel y las emisiones resultantes son: 2.02 kg/año de CH₄, 0.40 kg/año de NO₂ y 120.67 kg/año de CO₂.

Tabla 24 Consumo de combustible y emisiones por año cuadrante Sureste

Ruta	Consumo Combustible (gal/año)	Emisión CH ₄ (kg/año)	Emisión NO ₂ (kg/año)	Emisión CO ₂ (kg/año)
Sureste 1	4.977,56	2,02	0,40	120,67
Sureste 2	8.972,23	3,64	0,72	217,51
Sureste 3	9.230,85	3,75	0,75	223,78
Sureste 4	14.151,15	5,75	1,15	343,07
Total	37.331,79	15,16	3,02	905,03

La Tabla 25 corresponde al cuadrante Suroeste donde se observa que la ruta que mayor consumo de combustible presenta es la ruta Suroeste 4 con un total de 13,334.73 gal/año, en cuanto a las emisiones se tiene: 5.42 kg/año de CH₄, 1.08 kg/año de NO₂ y 323.28 kg/año de CO₂. En cambio la que menor consumo presenta es la ruta Suroeste1 con un total de 5,812.10 gal/año de combustible-diésel y las emisiones resultantes son: 2.36 kg/año de CH₄, 0.47 kg/año de NO₂ y 140.90 kg/año de CO₂.

Tabla 25 Consumo de combustible y emisiones por año cuadrante Suroeste

Ruta	Consumo Combustible (gal/año)	Emisión CH ₄ (kg/año)	Emisión NO ₂ (kg/año)	Emisión CO ₂ (kg/año)
Suroeste 1	5,812.10	2.36	0.47	140.90
Suroeste 2	6,999.64	2.84	0.56	169.69
Suroeste 3	6,946.78	2.82	0.56	168.41
Suroeste 4	13,334.73	5.42	1.08	323.28
Suroeste 5	13,123.49	5.33	1.06	318.16
Total	46,216.74	18.77	3.73	1,120.44



5.3 Comparación de resultados

Comparando los resultados entre las rutas actuales desarrolladas por la EMAC EP y las rutas nuevas optimizadas mediante análisis de redes realizado en este estudio, tomando en cuenta los aspectos de distancia recorrida, tiempo de recolección, consumo de combustible y emisiones que producen los camiones recolectores se obtuvo la información mostrada en la Tabla 26.

Tabla 26 Comparación Rutas actuales vs Rutas Optimizadas

Comparación				
Parámetros	Rutas Actuales	Rutas Optimizadas	Diferencia	%
Distancia Recorrida- km	1,508.76	1,651.50	-142.74	-0.094604459
Tiempo de recolección- Horas:Min: Seg	204:47:52	85:55:22	22:52:30	43%
Consumo combustible, Diésel- galones/año	582.53	503.32	79.21	14%
Número de Rutas	48	19	29.00	60%
Emisión CH ₄ - kg/año	144.15	74.73	69.42	48%
Emisión NO ₂ - kg/año	17.30	14.95	2.36	14%
Emisión CO ₂ - kg/año	2,145,065.36	1,852,128.92	292,936.44	14%

En la Tabla 26 se puede observar las comparaciones hechas entre las rutas actuales y rutas optimizadas usando la Ecuación 3. Se observa que con las rutas optimizadas la distancia recorrida es mayor, pero en menor tiempo obteniendo un 43% de disminución de tiempo de recolección, se logra un ahorro de combustible en un 14% anual y la disminución de gases contaminantes en un 48% respecto a las emisiones de CH₄ y una disminución del 14% de NO₂ y CO₂ respectivamente en un año.

Para realizar la comparación de los costos entre las rutas actuales y rutas optimizadas se toma en cuenta la cuadrilla de 4 trabajadores que son asignados a cada camión recolector por parte de la EMAC EP para el recorrido de las rutas actuales, conjuntamente con su remuneración mensual. Realizando la comparación de los costos entre las rutas actuales y optimizadas se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 27.

**Tabla 27 Comparación costos Rutas actuales vs Rutas Optimizadas**

	Rutas actuales	Ruta Optimizadas
Número de trabajadores/total de rutas	128	76
Remuneración mensual por trabajador- \$ 567.73	72,669.44	43,147.48
Recolección mensual - 26 días	48	19
Mantenimiento lavado diario del recolector - 3 personas	1,703.19	1,703.19

Se observa en la Tabla **27** que existe una disminución en cuanto al número de trabajadores ya que en las rutas actuales para cumplir con el servicio de recolección de residuos sólidos se emplea un total de 128 trabajadores por las 48 rutas, mientras que con las rutas optimizadas se necesitaría 76 trabajadores para las 19 rutas, logrando un ahorro económico de \$ 29,521.96.



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de investigación es una contribución al buen transporte y recolección de los residuos sólidos de la ciudad de Cuenca, buscando una optimización de las rutas de recolección actuales mediante la herramienta de ArcGis, Network Analyst.

Luego de un análisis de los programas que podrían ser usados para el estudio se concluyó que mediante la herramienta Network Analyst de ArcGis se podía diseñar la red vial del cantón Cuenca para un posterior análisis de las nuevas rutas optimizadas empleando herramienta New Vehicle Route Problem de Arcgis cuya función objetivo es encontrar las mejores rutas para una flota de transporte y brindar un buen servicio, pretendiendo minimizar el coste total de operación, el tiempo de transporte, distancia recorrida. Logrando así maximizar el beneficio mediante el equilibrio de la utilización de los recursos disponibles.

El sistema de recolección de residuos sólidos empleados por la EMAC EP, se realiza bajo una distribución de 48 rutas, en donde se puede observar cada una de las 32 sub zonas las mismas que están divididas en zona urbana y periférica a la zona rural, las zonas céntricas tiene el sufijo C1 hasta C24 y las periféricas tiene el sufijo P1 hasta P24, en las que ha sido dividido la ciudad de cuenca, realizándose la recolección de residuos en horario matutino o vespertino.

Con la implementación de las nuevas rutas optimizadas (19 rutas) existen opciones de mejora para reducir el tiempo de recolección, ajustar la carga laboral a cada cuadrilla de trabajadores y reducir el consumo de combustible logrando la disminución de gases contaminantes.

Se puede realizar la recolección partiendo desde la planta de operaciones y culminar en el relleno sanitario, brindando el servicio a todos los predios de la ciudad. Cuando se usan adecuadamente los camiones recolectores, su eficiencia de recolección es muy alta. Sin embargo, es necesario realizar un monitoreo constante de las rutas para mantener un equilibrio en el sistema de



recolección, y que al mejorar la eficiencia del sistema se estaría reduciendo el impacto ambiental del mismo.

Se aumenta la distancia productiva de recolección de la ciudad de Cuenca, evitando la pérdida de tiempo innecesario, el tiempo que se emplea para el servicio de recolección de cada predio es razonable ya que las rutas están distribuidas de acuerdo a un número máximo total de predios asignado a cada ruta.

Se logra un ahorro económico en concepto de consumo de combustible y se reduce considerablemente las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes de una manera considerable en un 26 %.

6.1 Recomendaciones

Para realizar las rutas de todo el mapa del cantón Cuenca mediante la herramienta Network Analyst del programa ArcGis se recomienda usar computadores de altas prestaciones, debido a que permiten el desarrollo de aplicaciones que aprovechan el uso colaborativo de múltiples procesadores con el objetivo de resolver un problema común, disminuyendo el tiempo de realizar una operación y así conseguir la resolución de problemas de mayor dimensión. Con esto se puede evitar en el presente estudio, la división de la ciudad de Cuenca en cuadrantes para la obtención de las rutas optimizadas. Sin embargo dependiendo del tamaño de la ciudad o el área del servicio, esta deberá ser subdividida en áreas a ser atendidas por los camiones recolectores.

Para el desarrollo del presente estudio, se pueden utilizar programas similares como gvSig, Quantum SIG entre otros debido a que, estos software son libres y están dispuestos gratuitamente, también incorporan funcionalidades en cuanto a topología y a redes, estos también podrían mejorar el manejo de grandes cantidades de datos.



Es importante realizar un estudio técnico para una futura implementación o desarrollo de nuevas rutas en la ciudad de Cuenca en las que se tome en cuenta el crecimiento poblacional, generación de residuos poblacional, costos de operación y mantenimiento, topografía de la localidad, el método de recolección, y el ancho y tipo de las calles para la implementación de nuevas rutas mediante la ampliación del presente estudio.

Se recomienda revisar el funcionamiento del sistema de recolección ya que es inevitable que se produzcan cambios en la ciudad y dichos cambios puedan provocar aumento en la cantidad de residuos sólidos en algunos sectores y se tenga que realizar nuevas rutas.

Un sistema de rutas bien diseñado, da como resultado que el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos sea más eficiente y la población se sienta a gusto con ese servicio brindado

Para estudios posteriores se recomienda emplear otro tipo de GPS, para mejorar la precisión en la toma de puntos. Se podría emplear un GPS del cual ya se puedan descargar los datos directamente al ArcGis.



7 ANEXOS

Anexo 1 Mapas Rutas Actuales



Anexo 2 Mapas de Rutas Optimizadas



8 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Tránsito (ANT), M. del I., 2014. Control de los límites de Velocidad en el País. [WWW Document]. URL <http://www.ant.gob.ec/index.php/noticias/742-continuan-operativos-de-control-de-los-limites-de-velocidad-en-el-pais>
- Alberola, C., Bordonau, B., Izquiero, G., Mendoza, C., 2013. Organización de los recursos disponibles para la recogida selectiva de envases.
- Analuisa, E., 2014. Emisión de Combustiones por combustible (Diesel).
- Autec.ec, 2014. Línea Volkswagen 7/8/9 Toneladas [WWW Document]. URL http://www.autec.ec/site/images/images/Linea_7_8_9_01.pdf
- Bermeo, W., 2014. Datos Técnicos EMAC.EP.
- Chatzouridis, C., & Komilis, D. (2012). Una metodología para óptimo sitio y diseño de transferencia de residuos sólidos municipales estaciones mediante programación binaria
- Cisneros, J., 2012. Gestión de Residuos Sólidos.
- Colaboradores de OpenStreetMap, 2004. OpenStreetMap potencia con datos de mapa a cientos de sitios web, aplicaciones móviles, y dispositivos de hardware [WWW Document]. URL <http://www.openstreetmap.org/about>
- EMAC EP, 2009. Servicio de Recolección [WWW Document]. URL <http://mail.emac.gob.ec/?q=node/272>
- EMAC EP, 2014. Remuneraciones EMAC EP [WWW Document]. URL <http://mail.emac.gob.ec/?q=remuneraciones>
- Esri, 2012a. Qué es un dataset de red [WWW Document]. URL <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//004700000007000000>
- Esri, 2012b. Que es un shapefile [WWW Document]. URL <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//005600000002000000>
- Esri, 2012c. Tutorial de Network Analyst.



- Esri, 2013a. ArcGIS Resources [WWW Document]. Ayuda ArcGIS 101. URL <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//0047000000001000000>
- Esri, 2013b. Qué es un dataset de red [WWW Document]. URL <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//na/0047000000000070000000/>
- Esri, 2013c. Un recorrido rápido por la geodatabase [WWW Document]. URL <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//na/003n0000000020000000/>
- Grupo Consultivo de Expertos (GCE), 2009. Manual del Sector de la Energía, Quema de Combustibles.
- Hurtado, D.F., 2012. Jerarquización Vial.
- MarketBook, 2014. Chasis: STERLING/ Caja compactadora: McNEILUS / AÑO 2003 [WWW Document]. URL <http://www.marketbook.ec/listingsdetail/detail.aspx?OHID=4642043&LP=TRK>
- Ministerio de Energía-Chile, 2012. Huella de Carbono [WWW Document]. URL http://www.mma.gob.cl/1304/articles-54981_PresentacionMetroGasMedioambiente.pdf
- NMEA to KML converter [WWW Document], n.d. NMEA KML Convert. URL <http://www.h-schmidt.net/NMEA/> (accessed 7.15.14).
- Ochoa, P., 2008. Tutorial de prácticas ArcGis Versión 9.2.
- Pellicer, E., Navarro, J., Del Pozo, A., 2011. Energía y Automoción: Impacto Socio-Económico. Optim. Redes Transp.
- *Resources, Conservation and Recycling*, 60(0), 89-98. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.004>
- Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS orientadas a la viabilidad de los sistemas para la optimización de la recogida selectiva de residuos sólidos municipales en las economías desarrolladas y



transitorias. *Waste Management*, 33(4), 785-792. doi:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.002>

- Tamarit, M., 2013. Qué es NMEA. Qué Es NMEA.
- Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Beijoco, F. (2013). Los costos de operación y la reducción de las emisiones contaminantes, por definición de la nueva programación de la recolección y la optimización de las rutas de recogida de RSU utilizando SIG. El estudio de caso de Barreiro, Portugal. *Waste Manag*, 33(4), 793-806. doi: 10.1016/j.wasman.2012.11.015



GLOSARIO DE TÉRMINOS

Arcgis: es una completa **plataforma** de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización. (Esri, 2012)

Formato NMEA: son las siglas de “National Marine Electronics Association”. Se utiliza en dispositivos GPS, también es utilizado en pilotos automáticos, sondas profundidad, radares, sondas de temperatura y una gran cantidad de dispositivos. (Tamarit, 2013)

Formato KML: Un archivo KML es un fichero que contiene datos geográficos. Mediante los archivos KML se pueden situar en un mapa distintos lugares que estén relacionados. Los archivos KML han sido desarrollados para ser manejados con el programa Google Earth, pero también se pueden utilizar con la aplicación de Google Maps.

Network Analyst: es una extensión del software ArcGis, que permite el análisis espacial de rutas para modelar las condiciones de la red de una manera dinámica. Permite resolver problemas partir del manejo de las redes. (Esri, 2012)

Network Dataset: conjunto de datos tipo red, estructurados y configurados adecuadamente, para ser usado por el sistema de análisis de redes. (Ochoa, 2008)

SIG: sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas de la planificación y gestión. (Ochoa, 2008)

UTM: es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano.



WGS84: es un datum geográfica (representa al mundo), Psad56 es un datum local de América del Sur.

Geodatabase: es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común. (Esri, 2013)

Shapefile: es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. (Esri, 2012)